

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України
Міністерство освіти і науки України

Черкаський державний технологічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КРИШТАЛЬ ВАСИЛЬ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 004.942:614.8

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЕВОЛЮЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ
ПРИ КОМПЛЕКТУВАННІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

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.

_____ В.М. Кришталь

Науковий керівник: Снитюк Віталій Євгенович,
доктор технічних наук, професор

Черкаси – 2021

АНОТАЦІЯ

Кришталь В.М. Еволюційні технології підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – «Інформаційні технології». – Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту, Міністерство освіти і науки України, Черкаський державний технологічний університет, Міністерство освіти і науки України, Черкаси, 2021.

Дисертаційна робота присвячена створенню еволюційних технологій підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки.

Орієнтованість економіки України на виробництво в металургійній, хімічній та енергетичній галузях є передумовою екологічних, техногенних катастроф, ймовірність таких загроз з кожним роком зростає, оскільки відповідне обладнання значною мірою виробило свій ресурс. Одночасно спостерігається певний кадровий і ресурсний дефіцит, обумовлений причинами різного характеру. Впливають і обставини, пов'язані з певними агресивними зовнішніми впливами.

На перший рівень виходять завдання забезпечення безпеки проживання населення, надання йому своєчасної та якісної допомоги у критичних умовах. Для цього необхідно здійснювати реформування аварійно-рятувальних служб та підвищувати ефективність їх діяльності, здійснювати технічне переоснащення. Комплектування аварійно-рятувальних підрозділів сучасною технікою та забезпечення її роботоздатного стану є першочерговою задачею. На сьогодні здійснюється виробництво значної кількості найменувань засобів для проведення аварійних та рятувальних робіт. У той же час носій таких засобів – пожежний чи спеціальний автомобіль має обмежений корисний простір.

Проблема комплектування аварійно-рятувальної техніки має певні особливості, які не дозволяють безпосередньо застосувати відомі моделі та методи. Зокрема, фактори, які впливають на ефективність процесу комплектування мають як кількісну, так і якісну природу. Багатокритеріальність задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки, її важкоформалізованість та слабка структурованість свідчать про актуальність розробки еволюційних технологій підтримки прийняття рішень при комплектуванні.

Завдання розробки моделей, методів та інструментальних засобів підтримки прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі еволюційної парадигми є важливою і актуальною.

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесів прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях шляхом розробки моделей та еволюційних методів комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності.

Об'єктом дослідження є процеси інформаційно-аналітичного супроводу прийняття рішень при ліквідації надзвичайних ситуацій, аварій та катастроф.

Предмет дослідження – моделі, еволюційні методи та інструментальні засоби комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розв'язанні наукового завдання розробки моделей, методів та інструментальних засобів комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі еволюційної парадигми, що дозволило одержати теоретичні та практичні результати, які характеризують новизну дослідження і особистий внесок автора, зокрема:

вперше:

- модель пошуку оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки, у якій, на відміну від попередніх, враховано ретроспективні дані про частоту та ефективність застосування комплектних елементів, що дозволило встановити значущість елементів та

об'єктивізувати процеси формування комплектів аварійно-рятувальної техніки;

удосконалено:

- метод комплектування аварійно-рятувальної техніки, у якому враховуються нечіткі експертні висновки, що дозволяє визначити оптимізований варіант комплектації та ступінь його оптимальності;
- еволюційні методи визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі принципу домінування та застосування штрафної функції, що дозволило уникнути вилучення перспективних варіантів із множини потенційних розв'язків задачі комплектування та зменшити час обчислень.

Отримані автором теоретичні результати доведені до конкретних інженерних методик, алгоритмів і програм, а саме, розроблено систему підтримки прийняття рішень при формуванні комплектів рятувального обладнання.

Основні положення, одержані в дисертації, спрямовані на подальший розвиток технологій оптимізації процесів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Розроблені моделі та методи складають методологічну базу процесів прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки. Результати дисертаційної роботи можуть бути використаними у наукових установах із дослідження проблем надзвичайних ситуацій, Управліннях Держаної служби з надзвичайних ситуацій України, особами, що приймають рішення щодо комплектування аварійно-рятувальних підрозділів, та у навчальному процесі.

Ключові слова: надзвичайні ситуації, аварійно-рятувальна техніка, комплектування, прийняття рішень, моделі, еволюційні методи.

SUMMARY

Kryshtal V.M. Evolutionary technologies of decision making support by the completing of rescue equipment. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences in the specialty 05.13.06 "Information technology". – Cherkasy Institute of Fire Safety named after the Heroes of Chernobyl of the National University of Civil Defense, Ministry of Education and Science of Ukraine, Cherkasy State Technological University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Cherkasy, 2021.

The dissertation work is devoted to creation of evolutionary technologies of decision making support by the completing of rescue equipment.

The orientation of Ukraine's economy to production in the metallurgical, chemical and energy sectors is a prerequisite for environmental, man-made disasters, the likelihood of such threats increases every year, as the relevant equipment has largely developed its resource. At the same time there is a certain staff and resource shortage due to various reasons. Circumstances connected with certain aggressive external influences.

At the first level are the tasks of ensuring the safety of the population, providing them with timely and quality assistance in critical conditions. To do this, it is necessary to reform emergency services and increase the efficiency of their activities, to carry out technical re-equipment. Completing emergency rescue units with modern equipment and ensuring its operational condition is a priority. Today, a large number of items for emergency and rescue operations are produced. At the same time, the carrier of such means - a fire truck or a special vehicle has limited usable space.

The problem of completing of emergency equipment has certain features that do not allow the direct application of known models and methods. In particular, the factors that affect the efficiency of the completing process are both quantitative and qualitative in nature. The multi-criteria task of completing rescue equipment, its dif-

difficult formalization and weak structure indicate the relevance of the development of evolutionary technologies to decision making support by equipment completing.

The task of developing models, methods and tools to decision making support on the completing of rescue equipment based on the evolutionary paradigm is important and relevant.

The purpose of the dissertation is to increase the efficiency of decision making processes in emergencies by developing models and evolutionary methods of completing rescue equipment in conditions of uncertainty.

The object of research is the processes of information and analytical decision making support in the elimination of emergencies, accidents and catastrophes.

The subject of research - models, evolutionary methods and tools for completing rescue equipment in conditions of uncertainty.

The scientific novelty of the obtained results is to solve the scientific problem of developing models, methods and tools for completing rescue equipment based on the evolutionary paradigm, which allowed to obtain theoretical and practical results that characterize the novelty of the study and personal contribution of the author. , in particular:

for the first time:

- a method of completing rescue equipment has been developed, which takes into account fuzzy expert opinions, which allows to determine the optimized variant of the complete set and the degree of its optimality;

- developed an evolutionary method for determining the optimal option of completing rescue equipment based on the principle of dominance and application of the penalty function, which avoided the removal of promising options from many potential solutions to the problem of completing and reduce computation time;

received further development:

- a model for finding the optimal option for the completing of rescue equipment, which, in contrast to the previous ones, takes into account retrospective data on the frequency and effectiveness of the use of complete elements, which allowed to objectify the processes of forming sets of rescue equipment.

The theoretical results obtained by the author are brought to specific engineering techniques, algorithms and programs, namely, a decision support system for the formation of rescue equipment sets has been developed.

The main provisions obtained in the dissertation are aimed at further development of technologies for optimizing the processes of emergency response. The developed models and methods form the methodological basis of decision-making processes for the acquisition of rescue equipment. The results of the dissertation can be used in research institutions to study the problems of emergencies, the Departments of the State Emergency Service of Ukraine, decision-makers on the completing of rescue units, and in the educational process.

Key words: emergencies, rescue equipment, completing, decision making, models, evolutionary methods.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Кришталь В.М., Снитюк В.Є. Еволюційний метод формування оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки. *Математичні машини і системи*. 2016. № 1. С. 168-174.
2. Кришталь В.М., Сергєєв А.В., Снитюк В.Є. Визначення оптимального варіанту комплектації аварійно-рятувальної техніки з використанням нечітких висновків. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Темат. вип.: Механіко-технологічні системи та комплекси*. Харків : НТУ "ХПІ". 2015. № 49 (1158). С. 144-148.
3. Крышталь В.Н., Снитюк В.Е. Проблема комплектования аварийно-спасательной техники и технологии ее решения. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. Харьков: ЧП «Технологический центр». 2014. Вып. № 3 (72). Том 6. С. 35-40.
4. Кришталь В.М., Снитюк В.Є., Федоренко Д.С. Критерій актуальності обладнання при розв'язанні задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Нові рішення в сучасних технологіях*. 2021. № 2(8). С. 70-76.

Статті у періодичних фахових виданнях іноземних держав

5. Kryshstal V., Snytyuk V. System analysis of formation of emergency rescue equipment sets. *International Journal «Information Technologies & Knowledge»*. – **България, София** : ITNEA 2016. Vol. 10. № 1. P. 91-100.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

6. Кришталь В.М., Кучер П.П., Снитюк В.Є. Еволюційне моделювання процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки. *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2015*: матеріали 10-ї міжн. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2015 р.). Чернігів. 2015. С. 237-241.
7. Кришталь В.М. Цільова функція в задачі неповного комплектування аварійно-рятувальної техніки. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)*: матеріали III міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ-Черкаси, 2015 р.). Київ. 2015. С. 218.
8. Кришталь В.М. Принципи і критерії комплектування аварійно-рятувальної техніки. *Електроніка та інформаційні технології (ЕЛІТ-2015)*: матеріали VII Українсько-польської наук.-практ. конф. (м. Львів-Чинадієво, 2015 р.). Львів. 2015. С. 8-9.
9. Крышталь В.Н. Задача комплектования аварийно-спасательной техники и эволюционный метод решения. *Інформаційні технології та взаємодії (IT&I – 2015*: матеріали II міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ, 2015 р.). С. 308-310.
10. Кришталь В.М. Інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень при розв'язанні задачі комплектування техніки. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2015)* : матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 2015 р.). Одеса. 2015. С. 264-266.
11. Кришталь В.М. Інтелектуальні технології розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки. *Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)*.: матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ-Черкаси, 2017 р.). Київ. 2017. С. 251.
12. Кришталь В.М., Снитюк В.Є. Оптимізація процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки. *Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2018*: матеріали 13-ї міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2018 р.). Чернігів. 2018. С. 180-181.

ЗМІСТ

	стор.
СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ.....	12
ВСТУП.....	13
1. ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ – УМОВА МІНІМІЗАЦІЇ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ І КАТАСТРОФ	19
1.1. Аспекти оптимальності вирішення проблеми комплектування аварійно-рятувальної техніки	20
1.2. Аналітичний огляд технологій комплектування виробів у кон- тейне- ри.....	24
1.3. Особливості комплектування аварійно-рятувальної техніки.....	27
1.4. Принципи, задачі та структурно-логічна схема дослідження.....	31
Висновки до розділу 1.....	36
МЕТОДИКА РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-	
2. АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО- РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.....	38
2.1. Формалізація задачі комплектування аварійно-рятувальної тех- ніки.....	39
2.2. Інформаційно-аналітичні моделі життєвого циклу аварійно- рятувальної техніки	52
.....	
2.3. Особливості побудови інтегральної цільової функції.....	64
Висновки до розділу 2.....	68
3 МОДЕЛІ ТА ЕВОЛЮЦІЙНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ В ЗАДАЧІ КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	70
3.1. Препроцесінг даних та основні напрямки оптимізації цільової	

функції	71
3.2. Метод розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки при нечітких експертних перевагах.....	72
3.3. Еволюційний метод визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі використання елементів генетичного алгоритму.....	77
3.4. Еволюційний метод визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі використання елементів еволюційної стратегії.....	81
3.5. Метод побудови критерію актуальності аварійно-рятувального обладнання.....	84
Висновки до розділу 3.....	90
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВЕРИФІКАЦІЯ І РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КОМПЛЕКТУВАННІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ....	93
4.1. Принципи інформаційно-аналітичної підтримки процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки.....	94
4.2. Розробка структури та визначення елементного базису системи підтримки прийняття рішень.....	97
4.3. Особливості практичної реалізації еволюційного методу комплектування аварійно-рятувальної техніки..	98
4.4. Визначення коефіцієнта актуальності аварійно-рятувального обладнання.....	103
4.5. Експериментальна верифікація технології визначення оптимального комплекту аварійно-рятувального обладнання.....	104
Висновки до розділу 4.....	107
ВИСНОВКИ.....	109
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	111
ДОДАТКИ.....	126

СПИСОК ПРИЙНЯТИХ СКОРОЧЕНЬ

ДСНС України	– Державна служба України з надзвичайних ситуацій
АРО	– Аварійно-рятувальне обладнання.
АРТ	– Аварійно-рятувальна техніка.
КАРТ	– Комплектування аварійно-рятувальної техніки.
ОПР	– Особа, що приймає рішення.
СМ	– Системна модель.
ЖЦ	– Життєвий цикл.
СППР	– Система підтримки прийняття рішень.
ГА	– Генетичний алгоритм.
ES	– Еволюційна стратегія.

ВСТУП

Актуальність теми. Економічний розвиток в Україні в останні десятиліття визначався зростанням виробництва в металургійній, хімічній та енергетичній галузях. Така спрямованість є передумовою екологічних, техногенних катастроф, ймовірність таких загроз з кожним роком зростає, оскільки відповідне обладнання значною мірою виробило свій ресурс. Одночасно спостерігається певний кадровий і ресурсний дефіцит, обумовлений причинами різного характеру. Впливають і обставини, пов'язані з певними агресивними зовнішніми впливами.

На перший рівень виходять завдання забезпечення безпеки проживання населення, надання йому своєчасної та якісної допомоги у критичних умовах. Для цього необхідно здійснювати реформування аварійно-рятувальних служб та підвищувати ефективність їх діяльності, здійснювати технічне переоснащення. Комплектування аварійно-рятувальних підрозділів сучасною технікою та забезпечення її роботоздатного стану є першочерговою задачею. На сьогодні здійснюється виробництво значної кількості найменувань засобів для проведення аварійних та рятувальних робіт. У той же час носій таких засобів – пожежний чи спеціальний автомобіль має обмежений корисний простір.

Системному підходу до вирішення складних проблем у загальному, аналізу проблеми комплектування, зокрема, та процесам прийняття відповідних рішень присвячені роботи відомих українських та закордонних вчених: Згуровського М.З., Зайченка Ю.П., Панкратової Н.Д., Тимченка А.А., Яковенка Ю.Ф. Оскільки проблема комплектування є слабо структурованою, то для її вирішення необхідно застосовувати технології інтелектуальної обробки даних, значний внесок у розвиток яких внесли вчені Доріго М., Голланд Дж., Сааті Дж., Рехенберг І., Швевель Х.-П. та інші.

Водночас, проблема комплектування аварійно-рятувальної техніки має певні особливості, які не дозволяють безпосередньо застосувати відомі моделі та методи. Зокрема, фактори, які впливають на ефективність процесу компле-

ктування мають як кількісну, так і якісну природу. Багатокритеріальність задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки, її важкоформалізованість та слабка структурованість свідчать про актуальність розробки еволюційних технологій підтримки прийняття рішень при комплектуванні.

Таким чином, задача розробки моделей і методів підтримки прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі еволюційної парадигми є важливою і актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана в рамках науково-дослідної теми Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Метод розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки з використанням принципу домінування і генетичного алгоритму», номер державної реєстрації – 01112U008406.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності процесів прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях шляхом розробки моделей та еволюційних методів комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності. Для досягнення цієї мети в дисертаційній роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати аналіз принципів, моделей, методів та інструментальних засобів підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та комплектуванні аварійно-рятувальної техніки;
- виконати формалізовану постановку задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки та розробити інформаційно-аналітичні моделі її життєвого циклу;
- побудувати комплекс моделей, які супроводжуватимуть одержаний розв'язок задачі комплектування по етапах його життєвого циклу;
- розробити метод розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки при нечітких експертних перевагах;

- розробити еволюційні методи визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки;
- розробити структуру системи підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки та виконати експериментальну верифікацію розроблених моделей та методів.

Об’єктом дослідження є процеси інформаційно-аналітичного супроводу процесів прийняття рішень при ліквідації надзвичайних ситуацій, аварій та катастроф.

Предмет дослідження – моделі, еволюційні методи та інструментальні засоби комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності.

Методи дослідження. У дисертаційній роботі використані елементи системного підходу та системного аналізу як науково-практичних методологій вирішення складних проблем та дослідження складних систем, відповідно.

Для порівняльного аналізу технологій комплектування застосовувались елементи теорії дискретної оптимізації; формалізація задач дослідження та побудова моделей здійснювалась з урахуванням основних положень теорії багатокритеріальної оптимізації, теорії нечітких систем та нечіткої логіки; пошук оптимального комплекту аварійно-рятувальної техніки здійснювався на основі технологій штучного інтелекту та еволюційного моделювання.

При розробці структури та визначенні елементної бази системи підтримки прийняття рішень використані методи прийняття рішень, теорія баз даних та технології побудови прикладних експертних систем.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційному дослідженні розв’язано наукове завдання розробки моделей, методів та інструментальних засобів комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі еволюційної парадигми, що дозволило одержати теоретичні та практичні результати, які характеризують новизну дослідження і особистий внесок автора, зокрема:

вперше:

розроблено модель пошуку оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки, у якій, на відміну від попередніх, враховано ретроспективні дані про частоту та ефективність застосування комплектних елементів, що дозволило встановити значущість елементів та об'єктивізувати процеси формування комплектів аварійно-рятувальної техніки;

удосконалено:

- метод комплектування аварійно-рятувальної техніки, у якому враховуються нечіткі експертні висновки, що дозволяє визначити оптимізований варіант комплектації та ступінь його оптимальності;
- еволюційні методи визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі принципу домінування та застосування штрафної функції, що дозволило уникнути вилучення перспективних варіантів із множини потенційних розв'язків задачі комплектування та зменшити час обчислень.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані автором теоретичні результати доведені до конкретних інженерних методик, алгоритмів і програм, а саме, розроблено методику комплектування аварійно-рятувальної техніки та систему підтримки прийняття рішень при формуванні комплектів рятувального обладнання.

Основні положення, одержані в дисертації, спрямовані на подальший розвиток технологій оптимізації процесів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Розроблені моделі та методи складають методологічну базу процесів прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки.

Результати дисертаційного дослідження впроваджені або використані в Головному управлінні ДСНС України в Київській області, Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, ТОВ «Промислова компанія Пожмашина», а також використовуються у навчальному процесі Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України при вивченні курсів «Ор-

ганізація експлуатації пожежної техніки», «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка», «Автоматизовані системи управління та зв'язок».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, що виносяться до захисту, одержані автором самостійно. У друкованих працях, підготовлених і опублікованих у співавторстві, йому належить: у роботі [91] – еволюційний метод для визначення оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки та основні аспекти формування потенційних розв'язків на основі принципу протекціонізму; в [89, 99] – моделі та метод визначення оптимального варіанту комплектування на основі нечіткої багатокритеріальної оптимізації з використанням методу аналізу ієрархій та побудови функцій належності на основі попарних порівнянь пріоритетності цільових функцій; у [94] – системна модель вибору оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки; у [20] – критерій актуальності аварійно-рятувального обладнання; у роботі [90] наведено аспекти формування цільової функції; в [95] – визначено елементи еволюційних технологій визначення оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки.

Апробація результатів дисертації. Основні ідеї, принципи, положення та результати досліджень доповідались та обговорювались на наукових конференціях:

- X, XIII Міжнародних науково-практичних конференціях «Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2018» (м. Чернігів, 2015, 2018 рр.);
- III, IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи)» (м. Київ-Черкаси, 2015, 2017 рр.);
- VII Українсько-польській науково-практичній конференції «Електроніка та інформаційні технології (ЕлІТ-2015)» (м. Львів-Чинадієво, 2015 р.);
- II Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та взаємодії (ІТ&І – 2015)» (м. Київ, 2015 р.);
- IV Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2015)» (м. Одеса, 2015 р.).

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 12 наукових праць, з яких 4 статті у фахових виданнях України, 1 стаття у закордонному виданні, 7 тез доповідей у матеріалах міжнародних конференцій.

РОЗДІЛ 1

ПРОБЛЕМА КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ – УМОВА МІНІМІЗАЦІЇ НЕГАТИВНИХ НАСЛІДКІВ АВАРІЙ І КАТАСТРОФ

Розв’язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки (АРТ) є однією із необхідних складових інтелектуалізації технологій гарантування безпечного середовища проживання людини. Сучасний світ динамічно розвивається і атрибутами цього розвитку, зокрема, в Україні, ще донедавна був домінуючий ріст металургійної, хімічної та енергетичної галузей. І сьогодні вплив цих галузей на економіку залишається визначальним. Його наслідком є виклики та загрози, пов’язані із небезпекою техногенних та екологічних катастроф, причинами яких є зношеність обладнання, прагнення власників до збільшення норми прибутку, кадровий, фінансовий та ресурсний дефіцит.

В останні роки технології проведення аварійно-рятувальних робіт в Україні визначаються такими факторами: створенням єдиної служби для організації та проведення аварійно-рятувальних заходів різної направленості; уніфікацією надання форм допомоги населенню при аваріях, катастрофах та пожежах; орієнтацією на закордонні форми організації та проведення рятувальних заходів; потенційною інтеграцією окремих служб (101, 102, 103 та 104).

Дефіцит фінансових та матеріальних ресурсів є причиною недостатньої кількості носіїв аварійно-рятувального обладнання (АРО). На сьогодні, це найчастіше спеціальні та пожежні автомобілі. Обмеженість площі та просторові обмеження для розміщення обладнання на автомобілі, багатофункціональність і зростаюча номенклатура сучасних пристроїв та засобів для проведення аварійно-рятувальних робіт зумовлюють необхідність вибору оптимального або прийняттого комплекту як розв’язку відповідної оптимізаційної задачі або задачі прийняття рішень.

1.1. Аспекти оптимальності вирішення проблеми комплектування аварійно-рятувальної техніки

Промисловий ріст, техногенна навантаженість навколишнього середовища, зміна клімату, ріст ризиків екологічних катастроф, соціальної напруженості в суспільстві, супутні загрози та інші фактори об'єктивної й суб'єктивної природи зумовлюють підвищену увагу до рівня оснащення та функціонування аварійно-рятувальних підрозділів.

Однією з головних задач є комплектування техніки засобами для рятування людей, гасіння пожеж, мінімізації збитків від техногенних та екологічних катастроф. Оскільки на сучасному етапі основним технічним засобом, на якому розміщується АРТ, є пожежний автомобіль, то оптимізоване його комплектування є актуальним науковим завданням.

Концептуальні особливості його розв'язання були досліджені в [89]. Визначення ефективності компоновальних рішень запропоновано здійснювати за рядом критеріїв [99].

Таким чином, одним з перших кроків розв'язання задачі комплектування АРТ є технологічне передбачення можливих техногенних та екологічних катастроф у регіоні та їх наслідків, що можливо здійснювати як в умовах наявності ретроспективних даних, так і на базі моделювання майбутніх процесів з використанням нормативної інформації (унікальне моделювання). Статистичні дані складуть основу прогнозування різнотипових аварійних ситуацій, які викликані повторюваними природними факторами та результатами людської діяльності. Передбачення масштабів надзвичайних ситуацій та наявність певної кількості пожежних автомобілів дозволить здійснити визначення необхідної кількості елементів АРО.

Формалізація згаданих вище задач та їх відображення в категорії моделей дозволить здійснити структурну та параметричну ідентифікацію потрібних залежностей, а також забезпечити можливість пошуку області компромісу. Оскільки їх розв'язання відбувається в умовах, що динамічно змінюються,

то раціональним є застосування методів еволюційного моделювання для розв'язання вказаних задач оптимізації.

Реформування служб порятунку в Україні й необхідність підвищення ефективності їх діяльності є причиною технічного переоснащення підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій (ДСНС України). Комплектація АРТ – одне з першочергових його завдань. На сьогоднішній день виробляється значна кількість найменувань засобів, призначених для проведення різного роду аварійних та рятувальних робіт. У той же час носій таких засобів – пожежний автомобіль має обмежений корисний простір.

Розглянемо проблему комплектування АРТ та аспекти її можливого вирішення. Як відомо, проблема – це невідповідність реального і бажаного стану чого-небудь. У нашому випадку проблема вважалась би вирішеною, якщо АРТ була б оптимальним чином укомплектована. Але що означає оптимальність комплектації? Нижче спробуємо дати відповідь на це питання.

Сучасний світ живе в умовах неперервних природних катаклізмів. Це цунамі й урагани, землетруси, посухи, повені та пожежі. До таких природних явищ додаються техногенні, екологічні катастрофи, зумовлені зростанням промислового виробництва, а також загрози, які надходять від окремих суб'єктів, або викликані іншими, можливо випадковими чинниками. У розвинених країнах світу створені спеціальні служби, що надають допомогу людям, постраждалим у вищевказаних надзвичайних ситуаціях. В Україні такі функції покладені на підрозділи ДСНС України. Універсальність функцій, що виконуються її співробітниками, є причиною існування проблеми забезпечення та комплектування таких підрозділів технічними засобами. У більшості випадків їх носієм є пожежний або спеціальний автомобіль, і в цьому випадку маємо протиріччя між необхідністю забезпечення універсальності АРТ і обмеженістю його носія. Необхідно розв'язувати завдання оптимального комплектування АРТ.

Орієнтація на закордонні форми та організацію аварійно-рятувальних робіт, а також необхідність переходу від уніфікованих форм надання допомо-

ги при пожежах, катастрофах або аваріях до деякої міри їх універсалізації є визначальними причинами розробки технологій інтеграції раніше окремо існуючих служб (101, 102, 103, 104). На доцільність створення служби 112 як аналога американської 911 звернув увагу і президент України у своєму дорученні прем'єр-міністру. Одним із важливих завдань, які супроводжують процес такої інтеграції, є комплектування аварійно-рятувальної техніки (КАРТ). Актуальність його розв'язання обумовлена різноманіттям функцій сучасної АРТ, а її широка номенклатура вказує на необхідність вибору прийнятного варіанту КАРТ як розв'язку задачі оптимізації.

Задача КАРТ в останнє десятиліття набула особливої актуальності, що пояснюється рядом причин. До них належать, зокрема, постійне реформування і зміна підпорядкованості аварійно-рятувальних підрозділів, збільшення асортименту аварійно-рятувальної продукції, відміна заборони на імпорт кращих закордонних зразків техніки, відсутність достатньої кількості фінансових ресурсів для закупівлі потрібних носіїв та елементів АРТ.

З іншої сторони можна стверджувати, що динаміка сучасного світу, який відзначений ростом техногенної навантаженості, має стійку тенденцію до збільшення аварій та катастроф. У переважній більшості випадків носієм АРТ є пожежні автомобілі як універсальні, так і спеціальні. Їх особливістю є обмеженість просторової конструкції для розміщення обладнання. Оскільки таким обладнанням є засоби для порятунку людей при пожежах чи аваріях, техніка для гасіння пожеж, а також засоби для мінімізації наслідків техногенних або екологічних катастроф, то природно виникає проблема їх розміщення на носії. Оптимізації ефективності АРТ та мінімізація протиріч між її габаритами, функціональністю та номенклатурою становить актуальне наукове завдання.

Аспекти, що супроводжують розв'язання задачі КАРТ, досліджені в [103]. Показано, що традиційним методом визначення оптимального комплекту техніки є прийняття рішень відповідальною особою на основі досвіду, інтуїції та фінансових ресурсів. Системний підхід до комплектування АРТ у

переважній більшості випадків відсутній. Тому, кожне із рішень є частковим, воно не може бути узагальненим та поширеним на інші аварійно-рятувальні підрозділи. Системності розв'язанню такої задачі надає врахування тих факторів, які визначаються природним і штучним середовищем, територією та населенням, що на ній проживає, можливістю виникнення певного типу екологічної катастрофи чи техногенної аварії. При комплектуванні кожного окремого носія аварійно-рятувальної техніки необхідно враховувати вже існуючі варіанти комплектування окремих одиниць техніки у підрозділах.

Особливістю задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки є її багатокритеріальність, оскільки процес розв'язання визначається мінімізацією вартості комплекту, максимізацією потужності обладнання, його функціональності, надійності та дотриманням обмежень на габаритні розміри техніки. Розв'язанням задачі формування комплекту на одному шасі загальна задача КАРТ не вирішується, оскільки у багатьох випадках необхідно комплектувати весь підрозділ або розв'язувати таку задачу з урахуванням комплектацій підрозділу. Оскільки розв'язання вказаної задачі базується на необхідності числення факторів, які мають суб'єктивний характер, то раціональним є використання технологій теорії нечітких множин.

Ще одним фактором, який впливає на результат розв'язання задачі комплектування є передбачення можливих наслідків тих чи інших катастроф або аварій на підпорядкованій території. Для цього потрібно використовувати елементи та методи технологічного передбачення. Очевидно, що потрібно брати за основу ретроспективні дані, які можуть бути і відсутніми через різні причини, головною з яких є унікальність надзвичайної ситуації. У такому випадку в основу процесів прийняття рішень необхідно покласти результати моделювання і прогнозування майбутніх процесів. Важливу роль у цьому процесі відіграють структурна та параметрична ідентифікація невідомих залежностей та експертні висновки, що дозволить використати технології еволюційного моделювання та теорію нечітких множин.

1.2. Аналітичний огляд технологій комплектування виробів у контейнери

Проблема комплектування аварійно-рятувальної техніки є наслідком протиріччя між ресурсною обмеженістю, обмеженістю носія та необхідністю забезпечення універсальності й максимальної потужності та надійності аварійно-рятувального обладнання. Зауважимо, що потенційні результати вирішення цієї проблеми мають базуватись на представленні процесу комплектування АРТ як задачі багатокритеріальної оптимізації, що має багато спільного із задачами тривимірної упаковки, задачі про рюкзак, задачі розкрою, задачі комплектування замовлень тощо. Для їх розв'язання традиційно використовуються метод динамічного програмування [8], метод гілок і меж [5], метод повного перебору [40], генетичні алгоритми [16], алгоритми мурашиної колонії [6], «жадібні» алгоритми [88], а також алгоритм Ретліффа-Розенталя, евристичні методи маршрутизації, такі як S-подібний метод, метод з поверненнями, серединний метод, метод із відвідуванням найбільшого інтервалу, метод послідовного аналізу варіантів [59], інтегральний та комбінований методи.

При розв'язанні більшості таких і їм подібних задач перевага надається евристичним методам. Водночас, жорсткі обмеження та критерії, частина з яких має чіткий кількісний характер, а інша частина – якісний, що властиві задачі комплектування АРТ, визначають особливості її розв'язання.

Відомими є також задачі комплектування і раціонального використання працівників, комплектування структурних підрозділів, комплектування штабів та приладів. Розв'язуються задачі комплектування військових частин і бібліотечних фондів, комп'ютерних систем, інвестиційних портфелів. Як вже було згадано, крім задачі комплектування розглядають і задачу упаковки, в якій потрібно розмістити деякі об'єкти в контейнери. Одним із останніх результатів була знайдена оптимальна упаковка одиничних сфер в восьми- та двадця-

тичотирьохвимірних просторах українським математиком Мариною Вязовською. На практиці найчастіше необхідно розв'язувати задачу упаковки прямокутних паралелепіпедів різного об'єму в контейнери, які також є прямокутними паралелепіпедами.

Проблема комплектування є актуальною для багатьох предметних областей, починаючи від формування бібліотек у школах і закінчуючи упаковкою об'єктів у контейнери. Багато із подібних проблем і задач мають локальні розв'язки й існують технології їх одержання. Є відмінності у цільових функціях, обмеженнях та застосовуваних методах оптимізації.

Певні особливості мають місце і при розв'язанні задачі комплектування АРТ. Один із підходів до пошуку її розв'язку наведено в [105]. У той же час у залежності від інфраструктурних особливостей така задача може мати не одну постановку і підхід до її розв'язання.

У запропонованих раніше моделях та методах комплектування АРТ не використовувались знання про особливості навколишнього середовища, статистичні дані про надзвичайні ситуації та їх наслідки. Очевидно, що такі дані є визначальними при комплектуванні носіїв АРТ, серед яких є як спеціальні автомобілі, так і пожежні машини.

Як уже було вказано раніше, далі будемо розглядати пожежні автомобілі, оскільки вони, як носії аварійно-рятувального обладнання, кількісно переважають. Для інших автомобілів запропоновані результати також можна використовувати, обмеживши лише номенклатуру та тип обладнання.

Визначимо основні об'єкти, які відіграють визначальну роль при комплектуванні АРТ. Першим таким об'єктом є навколишнє середовище, в якому планується експлуатація пожежного автомобіля з відповідним комплектом АРО. Таким середовищем може бути село, місто, район чи область. Зауважимо, що чим більш спеціалізованим є автомобіль, тим ширшим є середовище його використання. Відповідний регіон визначається соціально-економічними характеристиками, головними з яких є кількість населення, величина валового внутрішнього продукту, середня заробітна плата, відсоток безробітних, кіль-

кість працюючих підприємств, характеристик виробництва та кількісні характеристики житлового фонду.

Для вибору варіанту оптимального комплектування АРО залучаються один чи декілька експертів, які пропонують рішення, одержані в умовах певної невизначеності. Центральними ідеями є застосування технологій одержання колективного порядку на множині альтернатив та використання експертних висновків з метою їх узагальнення та екстраполяції на майбутні можливі ситуації.

Виконуючи постановку задачі, автори [92, 103] вказували на особливості, серед яких слід відзначити її спільні та відмінні риси у порівнянні із задачею упаковки в контейнери [4, 12, 23], яка полягає в розміщенні об'єктів певної форми таким чином, щоб число використаних контейнерів було найменшим або загальний об'єм об'єктів був найбільшим. Існує багато варіантів цієї задачі, що відрізняються критеріями упаковки, зокрема, – це двовимірна упаковка, лінійна упаковка, упаковка по вазі, упаковка по вартості та інші, які можуть застосовуватися в різних областях.

Зокрема, упаковка в контейнери, на відміну від задачі комплектування АРТ, найчастіше є однокритеріальною задачею із жорстко заданими елементами її розв'язання. Основним критерієм є мінімальна вага або максимальна кількість чи об'єм. Розв'язки задачі комплектування АРТ можуть бути функціонально різними, мати різні габаритні розміри, різну потужність та надійність. Крім того, існують обмеження на габаритні розміри, оскільки обладнання необхідно упакувати в контейнер, який у найпростішому випадку має форму прямокутного паралелепіпеда. У загальному випадку АРО класифікують за основною функцією, яку воно виконує. Особливістю розв'язання задачі є те, що обладнання найчастіше є мультифункціональним і в одному комплекті може бути різна кількість його елементів. Крім того, число комбінацій таких елементів є значним, що унеможливорює здійснення його оцінювання одним експертом.

Очевидно, що задачі комплектування та упаковки є постійно актуальними, різноманітність форми і змісту об'єктів сучасного світу диктує необхідність їх розв'язання в умовах постійно змінних постановок. Важливо зауважити, що в задачі комплектування АРТ домінуюча роль належить цільовій функції, яка, як правило, визначається певним призначенням об'єктів.

1.3. Особливості комплектування аварійно-рятувальної техніки

Комплектування АРТ має кілька цілей, а саме:

- на обмеженій території забезпечити ефективно і повне проведення комплексу аварійно-рятувальних робіт, який полягає у забезпеченні безпеки людей, ліквідації наслідків аварій та мінімізації матеріальних збитків;
- забезпечити прийнятні компонувальні рішення, оскільки перелік обладнання для виконання аварійно-рятувальних робіт є достатньо великим і значна кількість елементів є взаємно-замінними.

Традиційно досягнення таких цілей пов'язано з вибором певного варіанту з допустимих або закупівлею директивно зазначеного обладнання. На сьогоднішній день відсутній системний підхід до визначення оптимального комплектування; рішення приймаються, виходячи з досвіду та інтуїції експертів. Очевидно, що вирішувати таке завдання необхідно, базуючись на інформації про територію, на якій буде застосовуватися АРТ. Управління процесом здійснення комплектування повинно виконуватись, виходячи з вивчення таких аспектів:

- кількості підприємств, що є потенційними джерелами екологічної та техногенної загрози;
- типу можливих катастроф, їх масштабів і способів ліквідації;
- кількості населення та його структури;
- наявності та розміру фінансових ресурсів, які можна витратити на придбання обладнання.

Оскільки промислові аварії можуть відбуватись у різних масштабах, то виникає проблема вибору: на який варіант розвитку подій орієнтуватися – з максимально можливими негативними наслідками або середньоочікуваними.

У залежності від її вирішення визначається варіант комплектування, необхідною умовою чого є ідентифікація залежності між масштабами аварій та вибором варіанта комплектування. І масштаб аварії, і варіант комплектування підлягають формальному опису, а завдання, яке розглядається, формалізації. Далі розглянемо елементи технології, які дозволяють об'єктивізувати процес прийняття рішень при комплектуванні АРТ.

Актуальність завдання комплектації АРТ визначається динамікою зростання кількості ситуацій, в яких необхідним є її використання, а також збільшенням техногенного навантаження навколишнього середовища [36]. Волонтеристський підхід до його розв'язання призводить до того, що при виконанні аварійно-рятувальних робіт часто відсутній необхідний інструментарій взагалі, або неможливо виконати завдання в повному обсязі.

Розглянута у даному дослідженні задача є логічним продовженням низки завдань забезпечення пожежної безпеки, що розглядаються раніше, у т.ч. і на конференціях KDS-2006 і KDS-2007 та розв'язуваних з використанням технологій Soft Computing [47, 48], зокрема:

- визначення найкоротшого маршруту проходження пожежного розрахунку до місця пожежі з оптимізованим простором пошуку [35];
- розрахунок шляху і часу поширення вогню до особливо небезпечного об'єкта [126];
- оптимізація системи пожежної сигналізації в залежності від передбачуваного масштабу наслідків пожежі та типу приміщення [80];
- постпрогнозування концентрації небезпечної хімічної речовини після аварійного викиду [79];
- оцінювання рівня безпеки проживання в багатоповерхових будинках залежно від поверху і наявності засобів евакуації та захисту [125].

Сучасний стан в розглянутій області характеризується значно розширеним асортиментом протипожежної та рятувальної продукції, зняттям обмежень на імпорт зарубіжних зразків, але існуванням певного дефіциту фінансових ресурсів. Не можна також не звернути увагу на необхідність забезпечення широкої функціональності та максимальної потужності обладнання. Ще однією важливою особливістю є те, що в більшості випадків носієм АРТ є пожежний автомобіль, на якому знаходиться відповідний контейнер.

Аналізуючи задачу дослідження, можна припустити, що цільова функція задачі про упаковку перетворюється в обмеження на габаритні розміри елементів. Цільовими функціями є функціональність, потужність, надійність, вартість, інші характеристики елементів АРТ [123]. Тому першочерговим завданням є формування інтегрального критерію та подання потенційних розв'язків задачі.

Складовими елементами (факторами) такої задачі є варіанти комплектування як потенційні рішення (розв'язки); зовнішні фактори, обумовлені динамікою навколишнього середовища, і фактори, що визначають розвиток нештатних ситуацій. При цьому потрібна ретроспективна інформація, що містить статистичні дані про минулі аварії та катастрофи. Але, найчастіше, такої інформації не існує, оскільки майже кожен промислову аварію відрізняють особливості, які не мали аналогів раніше. Саме тому, одним із способів обійти цю проблему є визначення критеріїв включення окремих елементних рішень у комплектацію техніки.

Зауважимо, що при їх установці мають враховуватись кількість аварій, на яких були використані однотипні елементні рішення; потужність і досягнутий позитивний ефект, виражений в одиницях обсягу виконаної роботи; негативний ефект, отриманий в результаті невикористання елементного рішення і виражений в одиницях отриманих збитків; можливість установки елементного рішення на аварійно-рятувальну техніку зазначеного типу.

Розробка таких критеріїв дозволить оптимізувати процес комплектування АРТ, враховуючи економічні, технологічні, технічні та інші фактори.

Особливостями таких задач і відповідних методів розв'язання є чітко визначені параметри об'єктів і одно-або двокритеріальність. На відміну від них, завдання комплектування АРТ є багатокритеріальною задачею з нечітко заданими перевагами на множині цільових функцій. Крім того, вона є певним аналогом задачі упаковки в контейнери, тобто тривимірною. При цьому кількість контейнерів вважається заданою, а кількість елементів АРТ – змінною.

Актуальність задачі КАРТ визначається динамікою росту ситуацій, в яких необхідним є її використання, а також збільшенням техногенного навантаження навколишнього середовища. На практиці розв'язання задачі КАРТ здійснюється відповідальною особою, виходячи з власного досвіду, наслідком чого при виконанні аварійно-рятувальних робіт часто виявляється відсутність необхідного інструменту взагалі, або неможливість виконання завдання в повному обсязі.

Сучасний стан в розглянутій області характеризується значно розширеним асортиментом протипожежної та рятувальної продукції, зняттям обмежень на імпорт закордонних зразків, але існуванням певного дефіциту фінансових ресурсів. Не можна також не звернути увагу на необхідність забезпечення широкої функціональності та максимальної потужності обладнання.

Окремі аспекти розв'язання завдання КАРТ вже розглядалися в роботах автора та колег. Так, зокрема, в роботі [96] здійснено постановку задачі КАРТ як задачі багатокритеріальної оптимізації, як критеріальні функції вказані функціональність, надійність, продуктивність і ціна. В статті [90] розглянуті проблеми побудови інтегральної цільової функції і виконаний аналіз традиційних методів розв'язання подібних задач, одним із основних методів розв'язання задачі вказано еволюційне моделювання. Враховуючи суб'єктивний характер пріоритетів критеріальних функцій, у статті [97] для їх об'єктивізації запропоновано використовувати елементи теорії нечітких множин, що дозволило визначити пріоритети того чи іншого варіанту комплектування і відповідно, здійснити вибір.

Очевидно, що складові інтегральної функції в задачі КАРТ є, в деякому сенсі, антагоністичними і крім того, цільова функція в такому ж сенсі антагоністична обмеженням на габарити. Серед недоліків раніше розглянутих методів розв'язання задачі КАРТ значиться і їх прив'язка до фіксованого числа розглянутих варіантів, яка свідчить про обмеженість методу, оскільки кількість елементів АРТ різних класів є великою, а отже, число їх комбінацій досить значним, що не дозволить виконати оцінку кожного варіанту комплектування кожним експертом.

1.4. Принципи, задачі та структурно-логічна схема дослідження

Таким чином, головною складовою процесу комплектування є встановлення (ідентифікація) залежності

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n, Z_1, Z_2, \dots, Z_m), \quad (1.1)$$

де Y – варіант комплектування, $X_i, i \in \{1, 2, \dots, n\}$ – фактори впливу внутрішнього розвитку нештатної ситуації, $Z_i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$ – зовнішні фактори. Ідентифікація залежності (1.1) пов'язана з необхідністю дослідження статистичної інформації. У багатьох випадках такої інформації не існує, оскільки майже кожна промислова аварія відзначають особливості, які не мали аналогів раніше. Саме тому, одним із способів обійти цю проблему є визначення критеріїв включення окремих елементних рішень у комплектацію техніки. На першому етапі такі критерії потрібно формалізувати. Зауважимо, що при їх встановленні враховується кількість аварій, на яких були використані однотипні елементні рішення; потужність та досягнутий позитивний ефект, виражений в одиницях обсягу виконаної роботи; негативний ефект, який одержано в результаті невикористання елементного рішення і виражений в одиницях одержаних збитків; можливість встановлення елементного рішення на аварійно-рятувальну техніку вказаного типу.

Разом із тим є значна кількість надзвичайних ситуацій, які можна вважати типовими, зокрема: дорожньо-транспортні пригоди, пожежі у багатоквартирних будинках, повені, пожежі у будинках приватного сектору тощо. Статистика таких пожеж є достатньою для аналізу актуальності того чи іншого компонувального рішення та прогнозування його використання у майбутньому. Визначення критеріїв, що вказуватимуть на ті чи інші переваги комплектів аварійно-рятувальної техніки, дозволить оптимізувати процес її комплектування з огляду на економічні, технологічні, технічні та інші фактори.

Варто зауважити, що задача ідентифікації (1.1) є складною, дороговартісною та у переважній кількості випадків є надлишковою задачею дискретної багатокритеріальної комбінаторної оптимізації. Вона може бути зведеною до іншої задачі однокритеріальної оптимізації, де не буде потрібно визначати цільову функцію за усіма можливими варіантами комплектації.

Структурно-логічна схема дослідження представлена на рис. 1.1.

Дане дослідження виконане за методологіями системного аналізу та системного підходу. Як відомо, системний підхід – науково-практична методологія вирішення складних проблем, в основі якої лежить реалізація трьох аспектів: систематизації, формалізації та цілеорієнтації [130, 131]. Згідно принципу систематизації виконано аналіз проблеми комплектування аварійно-рятувальної техніки, вказано на її вплив на суспільство та економіку. Показано, що дана проблема має багато спільного із відомими задачами дискретної оптимізації, зокрема, задачею про упаковку. Показані спільні та відмінні характеристики цих задач і методів їх розв’язання. Наявність багатьох критеріїв, за якими оцінюються комплекти техніки, а також присутність суб’єктивізму у декількох з них визначає особливості комплектування.

Проведений аналіз дозволяє встановити фактори, які є визначальними при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. Їх можна виокремити у дві групи: фактори, які визначаються особливостями елементів техніки та процесів прийняття рішень та фактори, які визначаються зовнішнім по відношенню до аварійно-рятувальних служб, середовищем. Така класифікація дозволяє

формалізувати задачу комплектування аварійно-рятувальної техніки та будувати цільову функцію задачі. У залежності від деталізації та бажаної точності може бути врахованою різна кількість факторів. Менша їх кількість дозволяє аналізувати меншу кількість інформації, більша – більшу, але внаслідок такого явища як «прокляття розмірності» враховується і більша кількість шумів.



Рис. 1.1. Структурно-логічна схема дослідження

Продовження

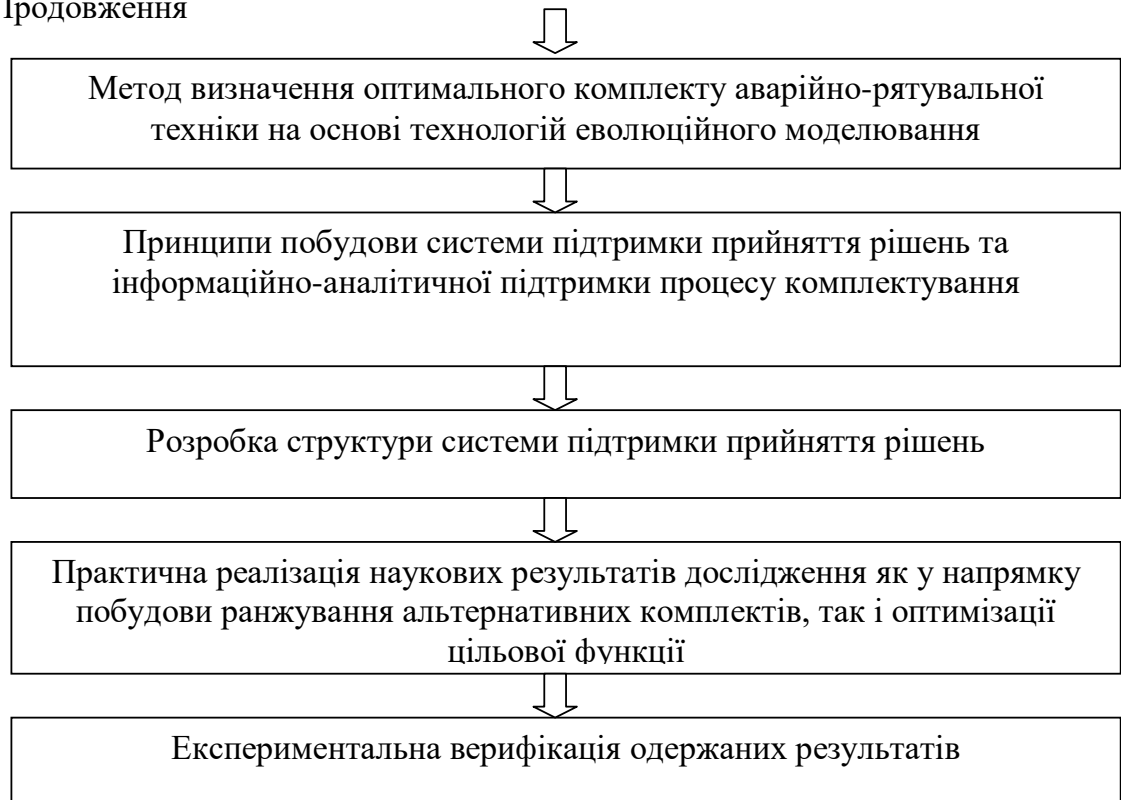


Рис. 1.1. Структурно-логічна схема дослідження

Досягнення мети дослідження супроводжується побудовою рівнів системної моделі, де на першому рівні визначаються цілі, яких необхідно досягнути, далі будується відображення із множини цілей на множину задач. Цілі є представленням бажаного або супутнього результату, задачі мають вербальну постановку із вказівкою ресурсних обмежень. Досягнення кожної цілі можливе при розв'язанні множини задач, як правило, на множині задач визначена певна структура, що має характер «І-Або» графа. Для того щоб задачі можна було розв'язати, здійснюється їх формалізація у вигляді моделей. Кожна із моделей належить до певного класу та може бути опрацьованою певним методом. Сукупність методів становить третій рівень системної моделі. Реалізація кожного методу, як правило, здійснюється з використанням комп'ютерної техніки, тому методи модифікуються до певної сукупності кроків та правил (алгоритмів). Алгоритми виконуються з використанням інструментальних засобів, загального чи спеціального спрямування. Формування системної моделі

є одним із етапів системного підходу та дозволяє структурувати процес дослідження.

Для кращого розуміння сучасного стану та перспектив розвитку та модифікації парку аварійно-рятувальної техніки можна будувати інформаційно-аналітичні моделі будови, функціонування та розвитку.

Вибір того чи іншого елемента аварійно-рятувальної техніки та формування її комплексу пов'язаний з необхідністю об'єктивізації процесу прийняття рішення. Для цього необхідно визначити, на яких підставах здійснюється вибір, які критерії покладені в його основу. Набір таких критеріїв найчастіше є евристикою, вони можуть мати як кількісний, так і якісний характер. І оскільки потужність множини таких критеріїв має бути значною, то необхідно здійснити редукцію відповідної множини без істотних втрат інформативності критеріїв.

Визначення критеріальної бази дозволяє робити висновки про якість виконання певної функції елементом обладнання і такі критерії є показниками ефективності. На наступному кроці необхідно здійснити їх інтеграцію та побудувати інтегральний критерій ефективності, значення якого дозволять зробити обґрунтований вибір обладнання. Такий критерій має відображати як внутрішні показники елементів аварійно-рятувальної техніки, так і їх взаємодію з навколишнім середовищем, яка буде визначати значущість чи актуальність таких елементів.

Побудова інтегрального критерію є необхідною умовою визначення оптимального комплексу обладнання. Як правило, інтегральний критерій є поліекстремальною негладкою функцією, і її оптимізація може бути здійсненою з використанням технологій не класичної інтегро-диференціальної парадигми, а методів еволюційного моделювання.

Крім того, пропонується ще одна технологія для визначення оптимального комплексу обладнання, яка базується на інтеграції експертних висновків. У цьому випадку інтегральна функція, яка могла б бути використаною для оцінювання того чи іншого комплексу обладнання, відсутня. Достатньо мати

ранжування комплектів обладнання, виконане експертами, і здійснити перехід від індивідуальних переваг до колективного ранжування, що дозволить визначити оптимальний комплект.

Результати, які одержані з використанням двох методів, можуть бути порівняними і особа, що приймає рішення, здійснить обґрунтований вибір. В експертизі елементів обладнання аварійно-рятувальної техніки може брати участь значна кількість експертів, крім того потужність елементної бази є такою, що не дозволяє об'єктивізувати процес її оцінювання. Саме тому потрібно розробити систему підтримки прийняття рішень, використання якої дозволить автоматизувати рутинні обчислювальні процедури та процес формування висновків за результатами розрахунків. Важливою складовою такої системи є база знань, що міститиме дані про аварійно-рятувальне обладнання, та продукційні правила, які і складатимуть основу формування висновків.

Важливою складовою дослідження є перевірка адекватності та доведення ефективності одержаних результатів. Для цього необхідно провести експериментальну верифікацію та за результатами моделювання зробити відповідні висновки.

Висновки до розділу 1

У першому розділі реалізовано елементи системного підходу до вирішення завдання комплектування аварійно-рятувальної техніки. Встановлено, що комплектування аварійно-рятувальної техніки можна віднести до задач багатокритеріальної оптимізації, які розв'язуються в умовах фінансового та ресурсного дефіциту. Головними наслідками, до яких приведе її розв'язання, є:

- забезпечення ефективного і повного проведення комплексу аварійно-рятувальних робіт на обмеженій території, який полягає у забезпеченні безпеки людей, ліквідації наслідків аварій та мінімізації матеріальних збитків;

- забезпечення прийнятних компонувальних рішень, оскільки перелік обладнання для виконання аварійно-рятувальних робіт є достатньо великим і значна кількість елементів є взаємно-замінними.

Проаналізовано ідеї, принципи, моделі, методи та інструментальні засоби, які використовуються чи могли б використовуватись для формування оптимальних комплектів аварійно-рятувального обладнання. Показано, що дана задача має багато спільного з відомими задачами упаковки в контейнери, задачі про ранець та іншими. Головною відмінністю є те, що задача комплектування аварійно-рятувальної техніки є важкоформалізованою та слабо структурованою, в ній присутні як кількісні, так і якісні показники та критерії, а також обмеження на габаритні розміри як носія, так і елементів обладнання.

Вказано на те, що дана дисертація є логічним продовженням циклу робіт із інформаційно-аналітичного супроводу процесів прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях, аваріях, катастрофах та пожежах, які виконувались в Черкаському інституті пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України. Особливостями результатів, які планується одержати, має стати регіональна орієнтованість аварійно-рятувальної техніки. Саме комплектування такої техніки, виходячи із особливостей клімату, рельєфу, природного та техногенного навантаження, а також соціального зрізу населення мають стати визначальними факторами вибору тих чи інших елементів обладнання.

Наведено постановку задачі дослідження, побудовано та визначено особливості структурно-логічної схеми дослідження, згідно якої представлені одержані результати.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНІ МОДЕЛІ КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Актуальність задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки викликана ростом кількості ситуацій, при яких необхідним є її використання, причому номенклатура необхідних засобів є досить великою. На практиці рішення про варіант комплектації приймається відповідальною особою, виходячи із власного досвіду, що при необхідності виконання аварійно-рятувальних дій досить часто призводить до відсутності необхідного інструментарію взагалі, або до неможливості виконання завдання у повному обсязі.

Для раціоналізації процесу комплектування необхідно сформулювати множину критеріїв і визначити інтегральний критерій, за значенням якого можна буде встановити переваги на множині варіантів.

Задача оптимізації процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки та визначення її оптимального комплекту для конкретного носія розглядалась в роботах [91, 95]. У другому розділі будуть здійснені формалізовані постановки супутніх задач, розглянуті фактори, від яких залежить якість їх розв'язання, встановлені критеріальні функції. Очевидно, що задача комплектування АРТ є задачею багатокритеріальної оптимізації. Відомий ряд методів, що дозволяють звести її до однокритеріальної, певним чином модифікуючи при цьому простір пошуку оптимального розв'язку.

Оскільки проблема комплектування аварійно-рятувальної техніки є важкоформалізованою та слабо структурованою, то її вирішення вимагає системного підходу. При цьому значна роль відведена існуючим практикам і технікам вирішення такої проблеми, їх систематизації, виділенні їх особливостей, переваг, недоліків та наступному моделюванні, ідентифікації невідомих залежностей та їх оптимізації.

2.1. Формалізація задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки

Задача комплектування потребує системного підходу до її розв'язання, що пов'язано з такими особливостями:

- комплектування однієї окремої одиниці здійснюється, виходячи з комплектування підрозділів, що обслуговують певну територію, на якій проживає певна кількість населення, яка має свої особливості природного та штучного середовища та на якій прогнозуються наслідки тієї чи іншої аварії або катастрофи;
- задача комплектування є багатокритеріальною, що визначається необхідністю забезпечення максимальної функціональності обладнання, мінімізації його габаритних розмірів, максимізації потужності та мінімізації вартості;
- необхідною умовою розв'язання такої складної задачі є розв'язання задачі комплектування одного пожежного автомобіля аварійно-рятувальними засобами;
- необхідно передбачити облік якісних особливостей процесу прийняття рішень, що дозволить отримувати прийнятні рішення на базі теорії нечітких множин.

Аналізуючи дані задачі КАРТ та розглядаючи можливі підходи до її розв'язання, приходимо до висновку, що задача КАРТ при певних умовах могла б бути зведеною до задачі дискретного сепарабельного програмування [58]:

знайти

$$\max F(x) = \sum_{i=1}^N F_i(x_i), \quad (2.1)$$

при обмеженнях:

$$g_p(x) = \sum_{i=1}^N g_p(x_i) \leq g_p^*, \quad p = \overline{1, q}, \quad (2.2)$$

$$g_p(x) = \sum_{i=1}^N g_p(x_i) \geq g_p^*, \quad p = \overline{q+1, Q},$$

(2.3)

де $F_i(x_i)$, $g_p(x_i)$ – функції дискретного аргументу, задані таблично.

Відомо, що задачі такого роду відносять до NP-повних. У цільову функцію тут входить сума часткових критеріальних функцій без вагових коефіцієнтів. Очевидно, що в такій постановці задачі можуть бути зроблені припущення, що спрощують процес її розв’язання. Відсутність вагових коефіцієнтів та додавання різнорозмірних функції при необхідності врахування суб’єктивних експертних висновків ускладнює використання технологій розв’язання задачі (2.1)-(2.3) при розв’язанні задачі КАРТ [99].

Для розв’язання задачі КАРТ раціональним є використання ідей розв’язання задач багатокритеріальної оптимізації [60, 136], методу послідовного аналізу варіантів [58, 110] та еволюційного моделювання [16, 26, 29].

Розглянемо формалізовану постановку задачі КАРТ, елементи якої містяться в [36]. Нехай множина $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ визначає номенклатуру АРТ. Кожен елемент множини X належить до одного з класів множини $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$, де $k \ll n$. Припустимо, що до комплекту має належати обладнання з кожного з $\{C_1, C_2, \dots, C_m\}$ класів, $m < k$, тобто $\{X_{i_1}^1, X_{i_2}^1, \dots, X_{i_{j_1}}^1\} \subset C_1, \dots, \{X_{i_1}^m, X_{i_2}^m, \dots, X_{i_{j_m}}^m\} \subset C_m$. Кожному елементу множини X поставимо у відповідність сукупність значень

$$X_q \rightarrow \langle F_{1_q}, F_{2_q}, F_{3_q}, F_{4_q}, a_q, b_q, c_q \rangle, \quad (2.4)$$

де F_{1_q} – значення функціональності q -го елемента; F_{2_q} – значення його продуктивності (потужності); F_{3_q} – надійність елемента, F_{4_q} – ціна елемента; a_q, b_q, c_q – його габаритні розміри, $q = \overline{1, n}$.

Без обмеження загальності будемо припускати, що всі елементи мають форму прямокутного паралелепіпеда і вони повинні бути розміщені в прямо-

кутному контейнері. Крім того, в контейнері повинно бути по одному елементу з кожного класу.

Тоді задача КАРТ зводиться до задачі багатокритеріальної оптимізації:

$$F_1(x) \rightarrow \max, F_2(x) \rightarrow \max, F_3(x) \rightarrow \max, F_4(x) \rightarrow \min, \quad (2.5)$$

5)

де $x = (x_{i_1}^1, x_{i_2}^2, \dots, x_{i_m}^m), x_{i_j}^j \in C_j$ при обмеженнях:

$$F_1(x_{i_j}^j) \geq F_{1\min}^j, F_2(x_{i_j}^j) \geq F_{2\min}^j, F_3(x_{i_j}^j) \geq F_{3\min}^j, F_4(x_{i_j}^j) \leq F_{4\max}^j, F_i(\cdot) > 0, i = \overline{1,4}, \quad (2.6)$$

)

$$0 < a_q(x_{i_j}^j) < \max\{a, b, c\}, 0 < b_q(x_{i_j}^j) < \max\{a, b, c\}, 0 < c_q(x_{i_j}^j) < \max\{a, b, c\}, \quad (2.7)$$

)

де $a_q(x_{i_j}^j), b_q(x_{i_j}^j), c_q(x_{i_j}^j)$ – габаритні розміри елемента АРТ, a, b, c – габаритні розміри контейнера.

Припустимо, що один комплект АРТ K_i містить елементи множини X , тобто $K_i \subset X$. При цьому можуть існувати такі комплекти, кількість елементів у яких не збігаються, тобто $\exists i, j, i \neq j: |K_i| \neq |K_j|$. Таким чином, одержуємо ще один варіант постановки задачі (2.5)-(2.7), в якому кількість елементів обладнання у різних комплектах може бути різною.

І ще одна вимога, яка не є обов'язковою, але виконання якої є переважним: в один комплект АРТ не входить два і більше елементів з одного класу, тобто не існує таких $j, q, p: (X_{jq} \in K_i) \& (X_{jp} \in K_i)$.

Не обмежуючи загальність, припустимо, що контейнер один і він має форму прямокутного паралелепіпеда з габаритами a, b, c . Використовуючи елементи методу послідовного аналізу варіантів [58, 59], виключимо з розгляду ті можливі рішення, які не задовольняють одній або декільком умовам.

Очевидними є такі обмеження:

1. $\sum_i (a_i \cdot b_i \cdot c_i) \leq a \cdot b \cdot c$, тобто сумарний об'єм елементів комплекту не

повинен перевищувати загальний об'єм контейнера.

2 $\forall i \max\{a_i, b_i, c_i\} < \max\{a, b, c\}$, що вказує на те, що якщо один елемент має принаймні один габаритний розмір, що перевищує найбільший габарит контейнера, то такий комплект виключається.

Вище вказано, що критеріями, що визначають вибір того чи іншого комплекту АРТ, є F_1 – функціональність, F_2 – потужність, F_3 – надійність, F_4 – ціна. Маємо задачу багатокритеріальної оптимізації: знайти комплект АРТ, який є розв'язком задачі (2.5)-(2.7).

Її розв'язанню передуює визначення вагових коефіцієнтів критеріальних функцій. Таку процедуру можливо здійснити з використанням елементів методу аналізу ієрархій Т. Сааті та схеми Беллмана-Заде [48, 118]. Для цього вибирають m експертів, які, використовуючи шкалу Т. Сааті, здійснюють порівняння критеріальних функцій та формують відповідну матрицю.

На наступному кроці оцінюють варіанти комплектування АРТ за кожним із критеріїв F_i , $i = \overline{1, 4}$. Аналогічно попередньому кроку одержують p матриць Q_i , елементи кожної з яких містять значення парних порівнянь варіантів комплектування за критеріями F_i , $i = \overline{1, 5}$. Їх аналіз дозволяє встановити пріоритети різних комплектів АРТ.

До важливих аспектів, які необхідно враховувати при розв'язанні задачі, відносяться наявність змінної кількості елементів у кожному варіанті комплектування. Така обставина вимагає формального визначення критеріальних функцій, оскільки для різного типу обладнання поняття і одиниці вимірювання функціональності та потужності відрізняються.

Для $\forall C_l$ необхідно знайти

$$\text{Argmax}_i \sum_{j=1}^4 \alpha_j^l F_j (X_i^l), \quad l = \overline{1, m}, \quad (2.8)$$

де α_j^l – коефіцієнти, що визначають значущість F_j .

Перш, ніж вказати на аспекти розв’язання задачі (2.8), визначимо деякі поняття. Так, під надійністю $F_3(X_j)$ будемо розуміти:

- середній час напрацювання на відмову, якщо він відомий;
- значення $\frac{N_0}{T}$, де N_0 – кількість відмов, T – одиниця часу, якщо є статистичні дані;
- експертні припущення, виражені в кількісній формі, якщо апріорна інформація відсутня.

Функціональність визначимо наступним чином. Нехай N_f – максимальна кількість функцій, що виконується елементом АРТ відповідного класу. Тоді $\frac{N_f(X_j)}{N_f}$, де $N_f(X_j)$ – кількість функцій, виконуваних елементом X_j АРТ і визначає функціональність X_j . Під потужністю, як відомо, розуміють кількість роботи, виконаної за одиницю часу. Оскільки деякі елементи АРТ призначені для виконання декількох функцій, то необхідно це врахувати і визначити для кожного елемента АРТ інтегральні характеристики.

Комплектуючи такий автомобіль, необхідно розв’язувати задачу багатокритеріальної оптимізації, оскільки набір засобів повинен бути максимально функціональним, продуктивним і надійним, а також мати мінімально можливі габарити і вартість. Дві останні характеристики і продуктивність є відомими точними величинами. Надійність – ймовірнісна паспортна характеристика, але може бути невідомою і тоді прогнозується, виходячи з досвіду використання. Складніше за все враховувати функціональність обладнання, оскільки ця характеристика, швидше за все, суб’єктивна.

Пропонується визначати функціональність з використанням нечітких продукційних правил. Очевидно, що функціональність має сенс розглядати для мультифункціонального одностипного обладнання. Тоді якість виконання

тієї чи іншої функції експерт оцінює за допомогою функції належності. Продукційні правила матимуть вигляд:

$$\text{Якщо } x_1 \in A_1 \& x_2 \in A_2 \& \dots \& x_n \in A_n, \text{ то } y \in B, \quad (2.9)$$

де x_i – значення функцій, A_i – нечіткі множини з відповідними функціями належності, $i = \overline{1, n}$, y – значення рівня функціональності, $y \in (0, 1)$, B – відповідна нечітка множина.

Правила такого типу формуються експертом і їх кількість дорівнює кількості обладнання, досвід роботи з яким має експерт. Кількість правил значно збільшується, якщо в оцінці обладнання беруть участь кілька експертів. Якщо параметри всіх функцій належності відомі, то такі правила дозволяють визначити рівень функціональності нового обладнання.

При абсолютній впевненості експертів у своїх висновках сукупність правил часто стає суперечливою. Тому, з метою зменшення, а часто і усунення суперечливості, експертам необхідно здійснювати структурну ідентифікацію функцій належності, а параметричну ідентифікацію виконувати за допомогою нейро-нечітких мереж, типу ANFIS або TSK [10, 13, 39, 73]. Отримані значення рівня функціональності для всіх видів однотипного обладнання дозволяють розв'язувати задачу багатокритеріальної оптимізації як в чіткій її постановці, так і в нечіткій. У другому випадку використовується схема Беллмана-Заде, за допомогою якої визначаються і пріоритети оціночних критеріїв.

Зменшити невизначеність процесу прийняття рішень відповідальною особою можна, застосувавши формальні методи опису як аварії або катастрофи, так і варіанту комплектування АРТ, його ефективності та технічних параметрів. На макрорівні задача комплектування полягає у ідентифікації залежності

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n, Z_1, Z_2, \dots, Z_m), \quad (2.10)$$

де Y – варіант комплектування, $X_i, i \in \{1, 2, \dots, n\}$ – фактори, які визначаються внутрішніми особливостями розвитку нештатних ситуацій, $Z_i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$ – фактори впливу зовнішнього середовища. Здійснення ідентифікації вищенаведеної залежності дозволило б у залежності від значень незалежних факторів встановити оптимальний варіант комплектування. Очевидно, що такий процес наштовхується на певні складнощі, зокрема, статистичні дані, на основі яких можна здійснити ідентифікацію (2.10) є відсутніми, оскільки техногенні та природні аварії або катастрофи носять найчастіше унікальний одиничний характер; визначений в результаті ідентифікації (2.10) варіант може бути неприйнятним через додаткові обмеження фінансового чи технічного характеру; кількість незалежних факторів та їх фізичний зміст відрізнятимуться у залежності від нештатної ситуації.

У роботах [103, 113] наголошується на необхідності формування критеріїв включення окремих елементних рішень у комплектацію техніки, проте способу одержання таких критеріїв не вказується. У той же час певні дані про результати ліквідації наслідків аварій та катастроф є відомими, що дозволяє встановити ефективність тих чи інших компонувальних рішень з урахуванням позитивного ефекту, вираженого у певних одиницях, зокрема, в одиницях обсягу виконаної роботи. Такі дані також вказують на неправильні, неефективні рішення або не одержаний позитивний ефект через відсутність тієї чи іншої техніки, показаний в одиницях матеріальних збитків.

Найчастіше елементи АРТ мають багатоцільове призначення і можуть виконувати декілька функцій. Задача визначення найкращої комплектації є задачею багатокритеріальної оптимізації і для її раціоналізації необхідно одержати певний інтегральний критерій, який дозволить встановити відношення переваги на множині альтернатив та вибрати найкращу із них.

На наступному етапі здійснимо нормування значень критеріальних функцій, використовуючи перетворення

$$F_j^{*i} = \frac{F_j^i - F_{j\min}}{F_{j\max} - F_{j\min}}, \quad j = \overline{1,5}, \quad i = \overline{1,|C_q|}, \quad q = \overline{1,m}, \quad (2.11)$$

де $F_{j\max}$, $F_{j\min}$ – максимальне і мінімальне значення j -ої критеріальної функції i -го елемента q -го класу обладнання. Нормування дозволить розглядати безрозмірні величини, порівнювати їх і будувати інтегральну критеріальну функцію елемента класу.

Така функція може бути як лінійною, так і нелінійною. У першому випадку вона є такою:

$$F_k(X_p) = \sum_{j=1}^5 \alpha_j^k \cdot F_j(X_p), \quad k = \overline{1,m}, \quad p = \overline{1,n}. \quad (2.12)$$

Для визначення коефіцієнтів α_j^k достатньо мати таблицю з кортежами

$$T = \langle Id, Class, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F \rangle,$$

(2.13)

де Id – ідентифікатор елемента АРТ, $Class$ – номер класу, F_j , $j = \overline{1,5}$ – значення критеріальних функцій (відомих, розрахованих або частково визначених експертним шляхом), F – значення інтегральної цільової функції, вказане експертами. Якщо кількість рядів у таблиці T більше п'яти, то застосовуючи метод найменших квадратів і припускаючи виконання умов його використання, можна визначити невідомі коефіцієнти критеріальної функції елемента АРТ. Оскільки кількість таких елементів значно більше п'яти, то надалі отриману критеріальну функцію можна використовувати для оцінки їх ефективності.

Якщо передбачувана критеріальна функція нелінійна, то її ідентифікація ускладнюється. Гіпотеза про нелінійність критеріальної функції швидше за все підтвердиться, якщо адекватність лінійної моделі не буде встановлена. Відомо, що найчастіше для ідентифікації нелінійних залежностей використовується метод Брандона [135], метод групового урахування аргументів [72, 82], нейронні мережі [77, 115, 134] та інші. Реалізація кожного із зазначених мето-

дів має свої особливості. При виконанні відповідних умов їх результати досить точні. Далі будемо припускати, що для кожного елемента АРТ відомо значення цільової функції $F(X_p)$, $p = \overline{1, n}$.

Відомо, що оптимальні часткові розв'язки підзадач, складені разом, не є оптимальним розв'язком задачі в цілому. Тому, розв'язки задач (2.5)-(2.7) є всього лише інформативним чинником і можуть бути використані при попередньому обговоренні і пошуку опорного розв'язку більш загальної задачі пошуку оптимального варіанту комплектування АРТ.

Визначаючи інтегральну критеріальну функцію комплекту АРТ, необхідно враховувати значущість U того чи іншого класу обладнання. Знайти відповідні коефіцієнти u_k , $k = \overline{1, m}$ можна як залежності від кількості аварій та катастроф (N), при яких використовується відповідне обладнання, кількості загиблих (R), травмованих (P), величини відповідного матеріального збитку (M). Для цього необхідно використовувати технологію аналогічну вищевикладеній для визначення вагових коефіцієнтів критеріальних функцій елементів. Відповідна таблиця буде мати такі кортежі :

$$T_i = \langle Id_i, N_i, R_i, P_i, M_i, V_i \rangle, i = \overline{1, m}. \quad (2.14)$$

Інтегральна критеріальна функція для комплекту АРТ буде такою:

$$F(K_p) = \sum_{j=1}^m u_j \sum_{l=1}^n \left(\sum_{i=1}^5 \alpha_i^j \cdot F_i(X_l) \right) \cdot \chi[(X_l \in C_j) \& (X_l \in K_p)], p = \overline{1, K}. \quad (2.15)$$

Друга задачу, що полягає в пошуку оптимального варіанту комплектування АРТ, формально подамо таким чином:

знайти

$$Arg \max_p F(K_p) = Arg \max_p \sum_{j=1}^m u_j \sum_{l=1}^n \left(\sum_{i=1}^5 \alpha_i^j \cdot F_i(X_l) \right) \cdot \chi[(X_l \in C_j) \& (X_l \in K_p)], \quad (2.16)$$

де F – інтегральна цільова функція, K_p – комплект АРТ, $p = \overline{1, K}$, K – максимально можлива кількість комплектів АРТ, $u_j, j = \overline{1, m}$ – ваговий коефіцієнт j -го класу обладнання, $\alpha_i^j, i = \overline{1, 5}$ – ваговий коефіцієнт i -ї критеріальної функції для j -го типу обладнання, $X_l, l = \overline{1, n}$ – елементи АРТ, $C_j, j = \overline{1, m}$ – класи обладнання АРТ, χ^* – функція-індикатор.

Розглянемо аспекти розв’язання задачі (2.16). Вони можуть бути розділеними на два класи. До першого належать аспекти формування пріоритетів цільових функцій та комплектів АРТ, до другого – технології одержання оптимального (квазіоптимального) розв’язку задачі (2.16). Для розв’язання задачі комплектування АРТ розроблено метод, результати застосування якого є одним із можливих елементів технології прийняття рішень, що базується на використанні теорії нечітких множин, як однією із складових парадигми Soft Computing [3, 48]. Не для всіх її положень існують строгі математичні доведення, не для всіх методів гарантована збіжність, їх застосування є доцільним при розв’язанні задач, пов’язаних із необхідністю врахування суб’єктивних суджень. Розв’язуючи задачу про визначення оптимального варіанту комплектування АРТ, експерти повинні володіти інформацією про порівняльні характеристики елементів АРТ одного класу, а також мати можливість приведення різнорідних показників до однієї шкали. У випадку, якщо компетентність експертів є невідомою для особи, що приймає рішення, рекомендовано скористатись методом, що базується на використанні аксіоми незміщеності, запропонованим в [15, 124, 127].

Як показано, метод має і недоліки. Зокрема, він орієнтований на визначену кількість варіантів комплектування, яка не може змінитись в процесі аналізу, і одержані результати не можуть використовуватись для оцінювання нового варіанту комплектування. Адже при додаванні інших варіантів комплектів АРТ необхідно буде здійснювати перерахунок усіх матриць попарних порівнянь за окремими критеріальними функціями. Крім того, суб’єктивізм

методу, навіть певним чином об'єктивізований, не гарантує вибору оптимального комплексу АРТ.

Розглянуто перспективи застосування інших методів, що базуються також на складових «Soft Computing» – штучних нейронних мережах, методах еволюційного моделювання, технологіях, що базуються на нових обчислювальних парадигмах. Це дозволить здійснювати оцінювання варіантів комплектування не при попарному порівнянні, а виходячи з уже побудованої моделі типу (2.16).

Аспекти іншого напрямку Soft Computing, а саме еволюційного моделювання для розв'язання задачі комплектування вже розглядались раніше в [36, 105, 121]. Оскільки функція (2.16) є поліекстремальною, негладкою, обчислюваною алгоритмічно, то її оптимізація не може бути здійсненою з використанням класичних методів, що базуються на інтегро-диференціальному численні.

Іншою парадигмою розв'язання подібних задач є стохастична оптимізація. Послідовний пошук оптимального розв'язку у випадковому напрямку та розмірність задачі не гарантують знаходження глобального оптимуму. Тому еволюційні технології, в основі яких лежить випадковий, але направлений пошук, є чи не єдиним способом розв'язати поставлену задачу.

Двома основними еволюційними методами, якими можна розв'язати задачу (2.16), є генетичні алгоритми та еволюційні стратегії. У класичному викладі перший метод призначений для розв'язання задач дискретної оптимізації з використанням генотипів (бінарних розв'язків), другий – базується на використанні дійсних представлень потенційних розв'язків. Характерним для цих двох методів є паралельний пошук оптимуму. Генетичний алгоритм більшою мірою залежить від розрядності комп'ютерної сітки та точності потенційного розв'язку (2.16). Відмінністю між генетичним алгоритмом та еволюційною стратегією є ще те, що при використанні генетичного алгоритму нові розв'язки утворюються як залежні від двох батьківських розв'язків, а в еволюційних стратегіях – батьківський розв'язок один.

Недоліком як генетичного алгоритму, так і еволюційної стратегії є значна кількість кроків у невірному напрямку при пошуку оптимального розв'язку. Хоч і той, і той методи збігаються за ймовірністю до глобального оптимуму при певних параметрах. Для того, щоб оптимізувати процес пошуку оптимального розв'язку задачі (2.16), доцільним є використання методу EvoMax, запропонованого у роботі [128]. Його особливістю є направленість випадкового пошуку за рахунок визначення перспективних розв'язків та міри їх перспективності і реалізації технології, при якій потенційно кращі розв'язки шляхом мутації генерують нащадків, причому в оптимізованій для такого пошуку області.

Використання еволюційного моделювання пов'язано із двома супутніми задачами: конструювання потенційного розв'язку та формуванням цільової функції. Особливістю задачі є те, що потенційний розв'язок може мати змінну структуру, що пов'язано із змінною кількістю елементів аварійно-рятувальної техніки в комплекті. Саме такі елементи і будуть «генами»-складовими потенційного розв'язку.

При формуванні інтегральної цільової функції, за якою можна оцінити ефективність комплекту техніки, враховуємо наведені вище складові. Зокрема, це ціна, надійність, потужність та функціональність. Зауважимо, що їх значення мають як об'єктивну сутність (ціна, потужність), так і об'єктивно-невизначену (надійність) та суб'єктивно-невизначену (функціональність) сутності. Позначимо габаритні розміри контейнера, в якому знаходиться комплект техніки $\{a, b, c\}$, габаритні розміри елементів обладнання $\{a_i, b_i, c_i\}, i = \overline{1, n}$, де n – кількість його видів.

Визначимо комплект часткових задач, які необхідно розв'язувати при формуванні комплекту аварійно-рятувальної техніки:

$$F_1 = \sum_i w_i(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_{p_i}}) \rightarrow \max,$$

(2.17)

$$F_2 = \sum_i (a_i + b_i + c_i) \rightarrow \min, \quad (2.18)$$

$$F_3 = \sum_i P_i(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_{p_i}}) \rightarrow \max, \quad (2.19)$$

$$F_4 = \sum_i Z_i(x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_{p_i}}) \rightarrow \min. \quad (2.20)$$

У виразі (2.17) w_i - вагові коефіцієнти, які вказують на важливість виконання i -ї функції, $\sum_i w_i = 1$, $i = \overline{1, k}$, а сума береться по тих i , які є перестановками (j_1, j_2, \dots, j_l) у зростаючому порядку, мінімальне значення j_l встановлюється дослідником, максимальне значення співпадає з k . Вираз (2.18) визначає мінімалізм габаритних розмірів комплексу обладнання, а третя цільова функція (2.19) вказує на необхідність забезпечення якнайширшої функціональності обладнання. Ціновий критерій (2.20) у сучасних реаліях має домінуючий характер, його складові є вартістю елементів обладнання.

Усі змінні виразів (2.17)-(2.20) є обмеженими величинами, що певною мірою визначає пошук можливого ефективного розв'язку.

Далі будуть наведені аргументи на користь використання інтегрального критерію ефективності комплексу техніки як адитивної згортки часткових критеріїв

$$F = v_1 F_1 + v_2 F_2 + v_3 F_3 + v_4 F_4, \quad (2.21)$$

де v_i - вагові коефіцієнти цільових функцій, $i = \overline{1, 4}$.

Як уже вказано вище, визначено, що головними критеріями, які враховують при комплектуванні АРТ, є ціна, функціональність, потужність, надійність. Один з підходів до визначення оптимального комплексу АРТ полягає у зведенні багатокритеріальної задачі (2.17)-(2.20) з обмеженнями на габаритні розміри комплектів до однокритеріальної [57, 61, 67, 76, 106, 109].

Реалізація методів, які відповідають такому підходу, є проблематичною. Далі буде представлено відповідну технологію з використанням еволюційних методів. Можливо також розв'язувати задачу комплектування АРТ з викорис-

танням експертного оцінювання. Для цього кожен з m експертів визначає n можливих варіантів комплектів АРТ. У найгіршому випадку кількість можливих варіантів nm . Далі усі експерти голосують за усі варіанти. Ті з n варіантів, які набрали найбільшу кількість голосів, визнаються потенційними розв'язками. Далі кожен експерт ранжує одержані варіанти. Існує багато методів побудови колективного ранжування на основі індивідуальних. Результуючі ранжування, одержані різними методами, можуть відрізнитись. Вибір остаточного ранжування вимагає додаткового обґрунтування.

Інші підходи базуються на використанні нейронних та нейронечітких мереж.

2.2. Інформаційно – аналітичні моделі життєвого циклу аварійно-рятувальної техніки

Розглянемо задачу комплектування аварійно-рятувальної техніки (АРТ) з системних позицій. Їх складовими є системний підхід та системний аналіз. Відомо, що системний підхід – науково-практична методологія вирішення складних проблем, визначальними аспектами якої систематизація, формалізація та цілеорієнтація [130, 131]. У свою чергу, системний аналіз – науково-практична методологія, дослідження складних систем, яка складається з таких етапів як формулювання цілі системи, встановлення її елементної бази, визначення структурних особливостей, формування множини внутрішніх параметрів системи та множини зовнішніх функцій визначення стану системи та показників її ефективності, ідентифікація критерію ефективності системи [75, 78]. Сам процес комплектування будемо розглядати як дуальний системному проектуванню – процесу одержання проекту системи в базисі системних властивостей, системних ресурсів та структур життєвого циклу [130]. В основу дослідження покладемо системну модель (СМ), яку подамо як кортеж елементів із відповідними відображеннями [131]. Всі чотири системні складові відобразимо конструктивно.

Важливо передбачати проблеми при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. Очевидно, що цей процес триває у часі і на кожному часовому проміжку потрібно прагнути до одержання оптимального розв'язку – найкращого можливого комплекту.

Насамперед зазначимо, що навколишнє середовище Ω містить три складові по відношенню до нашої задачі (рис. 2.1)

$$\Omega = \langle P, AS, NS \rangle, \quad (2.22)$$

де P – людська популяція, AS – штучні системи (створені людиною), NS – природні системи.

Процеси існування та функціонування вказаних складових не завжди є незалежними, у багатьох випадках вони перетинаються. Коли відбуваються пожежі, аварії, катастрофи, нещасні випадки тощо, то потерпають люди, завдається шкода штучним і природним системам у різних кількостях та пропорціях. Зокрема, при хімічних аваріях вражаються природні системи і люди, про пожежах – люди і штучні системи, при нещасних випадках – люди, при аваріях та катастрофах іншої природи – можливі й інші варіанти. Зауважимо, що в усіх вказаних випадках бувають виключення. Важливим є те, що їх наслідки є негативними для людини прямо чи опосередковано.

Розглянемо деяку область $\Xi \subset \Omega$, яка визначає територіально встановлену адміністративну одиницю, найчастіше, область чи місто. Побудуємо в області Ξ СМ процесу комплектування АРТ. Відомо [130], що СМ є кортежем (рис. 2.2)

$$SM = \langle G, M, T, A \rangle, \quad (2.23)$$

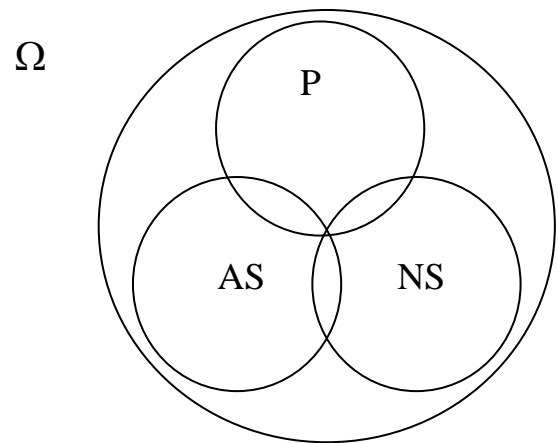


Рис. 2.1. Складові середовища

із відображеннями:

$$H_1 : G \rightarrow M, H_2 : M \rightarrow T, H_3 : T \rightarrow A, \quad (2.24)$$

де G, M, T, A – множини цілей, моделей, методів, засобів, відповідно.

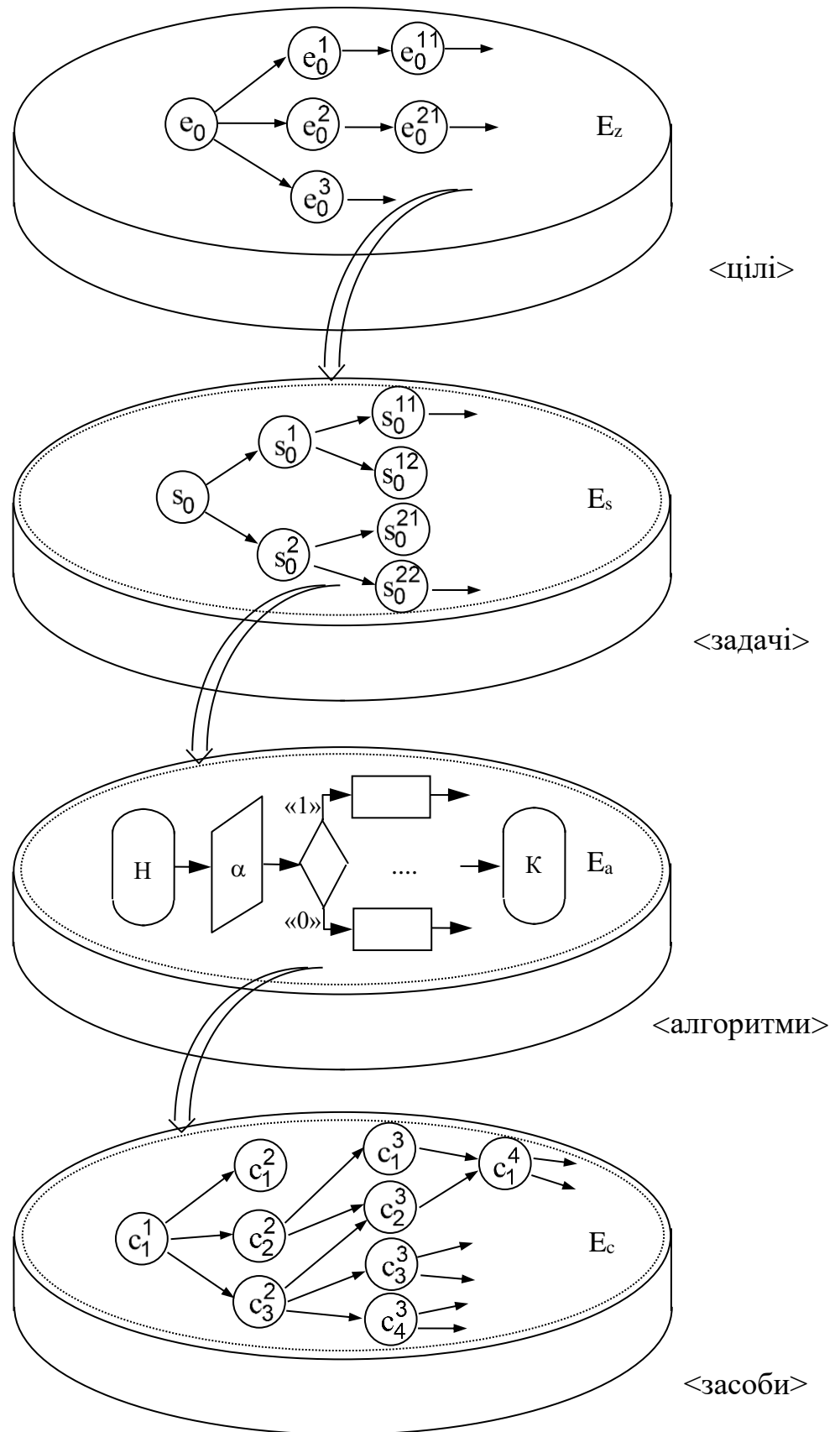


Рис. 2.2. Багаторівнева системна модель

Оскільки ціль є бажаним результатом, то у нашому випадку це рятування людей (G_{11}), зменшення матеріальних збитків (G_{12}), запобігання техногенним та екологічним катастрофам (G_{13}), тобто

$$G = \langle G_0, G_{11}, G_{12}, G_{13}, \dots, G_{1m}, G_{111}, \dots \rangle, \quad (2.25)$$

де G_0 – головна ціль, яка полягає у мінімізації негативних наслідків аварій, катастроф, пожеж тощо, G_{ij} , G_{ijk}, \dots – підцілі головної цілі, які утворюють ієрархічну графоподібну структуру. Досягнення хоча б однієї цілі із G , або сукупності цілей, або усіх цілей G як елементарних структур «І-Або» графа залежить від розв'язання сукупності задач

$$V = \langle V_1, V_2, \dots, V_m, V_{11}, \dots \rangle, \quad (2.26)$$

де V_i, V_{ij} – вербальні формулювання задач.

Відомо, що розв'язати можна задачі, які мають формалізовану постановку, тобто необхідно побудувати відображення множини $V \rightarrow M$. Склад множини M раніше обґрунтований в [93, 96] і включає в себе на макрорівні F_1 – ціна комплексу обладнання, F_2 – його функціональність, F_3 – потужність, F_4 – надійність.

Тоді відповідними задачами є такі:

$$F_1 \rightarrow \min, F_2 \rightarrow \max, F_3 \rightarrow \max, F_4 \rightarrow \max \quad (2.27)$$

при обмеженнях на габаритні розміри обладнання. До задач і моделей нижчих рівнів ієрархії належать ідентифікація як структурна, так і параметрична. Її особливості розглянуті в [107, 115]. Задачі, як і відповідні моделі, теж мають ієрархічну графоподібну структуру.

Для того, щоб одержати корисні дані, знання, інформацію, потрібно розв'язати задачі із множини V . Оскільки задачам відповідають певні моделі із непорожньої множини (банку), для їх обробки необхідно застосовувати методи (W), які ще називають способами розв'язання задач. Очевидно, що пев-

ний клас моделей і задач може бути розв'язаний з використанням класу методів. Таким чином, існує відображення

$$Q: M \rightarrow W, \quad (2.28)$$

яке не є взаємно однозначним і породжує необхідність оптимізації, яка полягає у виборі найкращого методу (встановленні найточнішого результату за певних ресурсних обмежень). Одним із способів його реалізації є використання підходу із застосуванням ансамблю методів.

Так, зокрема, до множини M належать парна та непарна множинна лінійна регресія, нелінійна регресія, нейромережі, поліном Колмогорова-Габора та інші. Множина методів включає в себе метод найменших квадратів, метод Брандона, метод групового урахування аргументів, нейромережні методи навчання (стохастичні, прямі, на основі back propagation) тощо. Переважна більшість методів, згаданих вище, є надто трудомісткими, особливо у випадку великої потужності множини початкових даних.

Оскільки розв'язання задач (2.27) потребує значних обчислювальних затрат важливим є етап відображення множини методів (T) на множину алгоритмів (U) як формальних конструкцій для практичної комп'ютерної реалізації. Подібно до того, як методи допускають свою параметричну оптимізацію, так і алгоритм, що відповідає одному методу може бути побудованим великою кількістю способів. Якщо сукупність параметричних варіантів одного методу є N , то потужність множини відповідних алгоритмів M , причому $M \gg N$.

Залишається проблема виконання (реалізації) алгоритму. Для задачі комплектування АРТ, незважаючи на рівень розвитку техніки та обчислювальних технологій, через комбінаторну складність ця проблема актуальна. Тому, вибір інструментальних засобів (Z) є важливим етапом її розв'язання і реалізується через відображення $U \rightarrow Z$.

Таким чином, визначені усі складові системної моделі. Її побудова на макрорівні полягає в реалізації сукупності відображень

$$G \rightarrow V \rightarrow M \rightarrow T \rightarrow U \rightarrow Z \dots \rightarrow M \rightarrow T \dots \quad (2.29)$$

Ланцюжок відображень відповідає реалізації ітераційного процесу, оскільки вимоги до того чи іншого методу можуть не відповідати цілям чи задачам комплектування АРТ. Не виключеною є ситуація, коли ефективність інструментальних засобів не дозволяє одержати розв'язок задачі за існуючих вихідних даних, або ресурсів, або вимог до процесу розв'язання. Системна модель (2.23)- (2.24) дає можливість системного бачення особливостей розв'язання задачі комплектування АРТ. Вона є інтегруючою ланкою номенклатури аварійно-рятувальних засобів, фінансових ресурсів, організаційно-технічних та адміністративних заходів.

Рівні реалізації системного підходу до задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки. Необхідність розв'язання задачі комплектування АРТ обумовлює проведення систематизованого дослідження її ретроспективних особливостей. Зокрема, Google видає близько 460000 посилань за ключовими словосполученнями «Аварійно-рятувальна техніка» та «Комплектування аварійно-рятувальної техніки» українською мовою та близько 1800000 посилань російською. Аналіз посилань за змістом вказує на дослідження теми комплектування АРТ в Черкаському інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України. Всі інші посилання дозволяють познайомитись із різними зразками АРТ, номенклатура яких є дуже широкою і саме тому й існує задача формування комплекту АРТ. Оскільки таку задачу, окрім фахівців із вказаного Інституту, як свідчить Google, ніхто не розв'язував, то ми звернули увагу на задачі, які є релевантними за певними аспектами нашої задачі. Зокрема, на запит «Задача упаковки» одержано 22500000 посилань. Різновидів такої задачі є декілька десятків. Це двомірна упаковка, лінійна упаковка, упаковка за вагою, вартістю [28, 33, 38, 81, 111, 120, 137] тощо. Особливістю таких задач є їх однокритеріальність [30]. Аналіз і систематизація технологій розв'язання задачі комплектування АРТ та подібних свідчить про або недослідженість відповідної проблеми або

про неврахування її багатокритеріальності. Такий висновок дозволяє виконати формалізацію задачі комплектування АРТ [20]. Будуючи моделі, необхідно враховувати цільове призначення як кожного окремого елемента АРТ, так і їх комплектів.

Етапи системного аналізу системи та процесу комплектування АРТ.

Вихідним етапом системного аналізу є формування цілі системи, у нашому випадку така ціль функціонування комплекту АРТ визначена вище як сукупність бажаних результатів. На наступному етапі здійснюємо визначення та впорядкування елементної бази, формуючи кортежі таблиці бази даних

$$\langle N, ID, Name, TS1, TS2, \dots, TS_{n_N}, f_1, f_2, \dots, f_{n_N}, s1, s2, s3, Pr \rangle, \quad (2.30)$$

де N – порядковий номер запису в таблиці бази даних, ID – ідентифікатор або скорочена назва елемента обладнання, $Name$ – повна назва обладнання, $TS1 - TS_{n_N}$ – технічні характеристики обладнання, $f_1 - f_{n_N}$ – функції, які виконує обладнання, $s1, s2, s3$ – його габаритні розміри, Pr – ціна. Дані, які знаходяться в таблиці (2.30) є вихідною інформацією для розв’язання задач (2.27). Знання технічних характеристик та функціональних особливостей елементів обладнання потрібне також для врахування структурних особливостей при формуванні, оптимального комплекту техніки. Зокрема, якщо для двох елементів обладнання i -го та j -го $f_k^i = f_k^j \forall k \in \overline{1, n}$, то до комплекту обладнання включимо той елемент, значення технічних характеристик якого є не гіршими, а хоча б одна є кращою, тобто

$$\forall k \ TSk^i \geq TSk^j \ i \ \exists l: TSl^i > TSl^j. \quad (2.31)$$

Можливі й інші ситуації:

- якщо кількість функцій i -го елемента є більшою ніж у j -го, то при всіх інших рівних умовах виберемо j -й елемент;
- якщо кількість функцій i -го елемента є більшою ніж у j -го, але значення хоча б однієї технічної характеристики є кращим при негірших значеннях усіх

інших, то вибір елемента здійснюється або з використанням технологій зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної або до формування колективної системи переваг із використанням системного аналізу [78, 130];

Переважним аспектом вибору є різноаспектність елементів обладнання, тобто, в ідеальному випадку не повинно існувати в одному комплекті двох елементів i -го та j -го таких, що $\exists k \in \overline{1, l}: f_k^i = f_k^j$. Водночас, бажаною є ситуація, коли $Uf_i = \Phi$, де Φ – простір усіх можливих функцій, які має виконувати комплект АРТ. Вказані особливості і визначатимуть структуру потенційного оптимального комплекту АРТ. Зауважимо, що значення ціни комплекту АРТ залишається визначальним.

Таким чином, початкова задача може бути зведеною до такої: знайти комплект АРТ, що

$$|Uf_i| \rightarrow \max \vee |\Phi \setminus Uf_i| \rightarrow \min, \quad (2.32)$$

де $|\Theta|$ – потужність множини (кількість елементів) Θ , \min чи \max знаходять по можливих комплектах обладнання з урахуванням обмежень на їх габаритні розміри. Задача (2.32) може бути уточнена з урахуванням значень технічних характеристик

$$(|Uf_i| \rightarrow \max \& \sum_k TSk \rightarrow \max) \vee (|\Phi \setminus Uf_i| \rightarrow \min \& \sum_k TSk \rightarrow \max),$$

або, що те ж саме

$$(|Uf_i| \rightarrow \max \vee |\Phi \setminus Uf_i| \rightarrow \min) \& \sum_k TSk \rightarrow \max. \quad (2.33)$$

Розглянемо більш детально систему функцій, які виконує елемент обладнання АРТ. Нехай f_k^j є головною функцією в множині усіх можливих функцій $\{f_1^j, f_2^j, \dots, f_k^j, \dots, f_n^j\}$ j -го елемента комплекту обладнання. Крім виконання головної функції j -й елемент може виконувати ряд допоміжних функцій, тому впорядкуємо множину функцій таким чином:

$$\{f_0^j, f_1^j, \dots, f_g^j, f_{g+1}^j, \dots, f_{n-1}^j\}, \quad (2.34)$$

де f_0^j – головна функція обладнання, f_i^j – побічні функції, $i = \overline{1, g}$, f_i^j – функції, які j -й елемент АРТ не виконує, $i = \overline{g+1, n-1}$. Для визначення ефективності j -го елемента АРТ використаємо показники ефективності виконання j -м елементом своїх функцій $\{y_0(f_0^j), y_1(f_1^j), \dots, y_g(f_g^j)\}$. Інтегральна оцінка ефективності є кількісною характеристикою показників ефективності,

$$E^j = E^j(y_0(f_0^j), y_1(f_1^j), \dots, y_g(f_g^j)) \quad (2.35)$$

і може бути ідентифікованою з використанням експертних висновків аналітично. Наприклад, як адитивна згортка,

$$E^j = \sum_{i=0}^g \beta_i \cdot y_i(f_i^j), \quad \forall j = \overline{1, m}, \quad (2.36)$$

де m – кількість елементів АРТ, β_i – ваговий коефіцієнт i -го показника ефективності. Зауважимо, що раніше встановлені чотири критерії оцінювання комплексу АРТ: ціна, функціональність, потужність та надійність. Такі ж критерії можна можуть розглядатись і для окремого елемента обладнання. Очевидно також, що існує залежність між функціональністю (F_2) та ефективністю елемента обладнання, тобто

$$F_2(e^j) = Q(E^j), \quad (2.37)$$

де e^j – елемент обладнання. Ідентифікація Q потребує додаткових досліджень. Зауважимо, що F_1, F_3, F_4 у випадку елемента обладнання є відомими. Ціна визначається постачальником або виробником, надійність відома за статистичними даними, потужність – паспортна характеристика елемента обладнання.

Раціонально при визначенні функціональності елемента обладнання враховувати актуальність усіх його функцій. Чим частіше виникала надзвичайна ситуація, де потрібно було реалізувати певну функцію, тим функціо-

нальнішим є обладнання з такою функцією. Така актуалізація приводить до побудови залежності, що визначає функціональність елемента АРТ

$$F_2(e^j) = Q(E^j) = Q\left(\sum_{j=0}^g \beta_i \cdot y_i(f_i^j)\right), \forall j = \overline{1, m}, \quad (2.38)$$

де $\beta_i = \gamma_i \cdot \delta_i$, причому γ_i – ваговий коефіцієнт i -ї функції, що визначається виробником обладнання, δ_i – ваговий коефіцієнт, який вказує на актуальність реалізації i -ї функції, $i = \overline{0, g}$. Загальний критерій ефективності комплексу АРТ формується з урахуванням наведених вище особливостей.

Розв’язуючи задачу комплектування АРТ, залишається врахувати характеристики, які супроводжують процес системного проектування. До системних ресурсів у цьому випадку можна віднести фінансові ресурси, а також носія аварійно-рятувального обладнання – спеціальні автомобілі.

Системні властивості комплексу АРТ включають в себе:

- відкритість – здатність до включення в комплект нових елементів або виключення,
- масштабованість – можливість використання комплексу АРТ на автомобілях різних типів,
- системність – здатність до виконання найширшої множини функцій,
- інтегральність – властивість спільної роботи різнотипних елементів обладнання при виконанні однієї задачі тощо.

Потрібно відзначити необхідність виконання вимоги про програмовану експлуатацію пропонованого комплексу АРТ, яка передбачатиме не лише ефективну його роботу сьогодні, але і в майбутньому, що можливо буде пов’язано із необхідністю заміни використовуваних елементів на нові та перспективніші.

В основі ефективного розв’язання задачі (2.33) лежать такі передумови:

1. Формування комплексу моделей, які дозволять здійснити ідентифікацію критеріальних функцій.

2. Розробка інтегрального критерію, отримання значень якого дозволить встановити уподобання на безліч варіантів.

Розглянемо задачу формування комплексу моделей, які складають інформаційно - аналітичний базис дослідження. Відомо, що при створенні складних систем традиційно [131] використовують моделі будови, функціонування і розвитку.

Розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки базується на використанні моделі будови такого виду:

$$M_{\sigma} = \langle S_1(a_1, b_1, c_1), S_2(a_2, b_2, c_2), \dots, S_n(a_n, b_n, c_n) \rangle, \quad (2.39)$$

де S_i – i -й можливий елемент комплектації, який може бути використаний для аварійно-рятувальних робіт, кількість таких елементів n , (a_i, b_i, c_i) – габаритні розміри обладнання. Очевидно, що модель (2.39) буде доповнена ще однією моделлю:

$$M_{\sigma}^* = \langle S_{i_1}(a_{i_1}, b_{i_1}, c_{i_1}), S_{i_2}(a_{i_2}, b_{i_2}, c_{i_2}), \dots, S_{i_m}(a_{i_m}, b_{i_m}, c_{i_m}) \rangle,$$

де m – кількість елементів аварійно-рятувальної техніки в одному комплекті, яка може змінюватись.

При формуванні моделі будови важливо вказувати габаритні розміри обладнання, які будуть використані при формуванні комплектації. Модель будови є базисом, який призначений для формування множини елементів і структури при комплектуванні АРТ.

Модель функціонування

$$M_f = \langle G_1, G_2, \dots, G_n \rangle, \quad (2.40)$$

де $G_i, i = \overline{1, n}$, – перетворення, яке реалізується i -м елементом, причому $Y_i = G_i(I_i, R_i, P_i)$, Y_i – деяка характеристика, яка визначається перетворенням G_i і вказує на його результат, I_i – апріорна інформація про типи аварійних ситуацій, їх масштаби і можливі наслідки, R_i – матеріальні та енергетичні ресурси,

що необхідні для функціонування елемента X_i і отримання значення $Y_i P_i$, – особливості процесу перетворення $\langle I_i, R_i \rangle \rightarrow Y_i, i = \overline{1, n}$.

Третя модель дозволяє прогнозувати можливі аварійні ситуації та гарантувати можливість заміни обладнання у найкоротші терміни без втрати його ефективності. Така модель є моделлю розвитку [56]:

$$M_d = \langle (S_1^1, S_2^1, \dots, S_{k_1}^1), (S_1^2, S_2^2, \dots, S_{k_2}^2), \dots, (S_1^{k_p}, S_2^{k_p}, \dots, S_{k_p}^{k_p}) \rangle, \quad (2.41)$$

де k_p – кількість типів обладнання, що виконує однакові функції. В межах кожного набору $(S_1^i, S_2^i, \dots, S_{k_i}^i), i = \overline{1, k_p}$ елементи є впорядкованими за ефективністю. У межах кожної сукупності елементи можуть бути впорядковані за рівнем функціональності, потужності і за вартістю. Можливо також варіанти упорядкування за значенням габаритів.

Моделі (2.39)-(2.41) становлять інформаційно-аналітичний базис формування показників ефективності та інтегрального критерію ефективності комплексу аварійно-рятувальної техніки. Їх побудова дозволяє визначити перелік функцій обладнання, ефективність їх виконання для конкретного комплексу, встановити кількісні й якісні співвідношення між показниками ефективності та побудувати інтегральний критерій ефективності на основі детермінованих, об'єктивно невизначених та суб'єктивно-невизначених показників із застосуванням технологій Soft Computing. До таких показників належать: ціна елементного рішення, його функціональність, потужність та надійність. Встановлення кількісних оцінок таких показників є слабко структурованою задачею.

Системність у розв'язанні будь-якої задачі є необхідною умовою одержання ефективного її розв'язку та оптимізації усіх етапів життєвого циклу. Наведені системні особливості задачі комплектування АРТ дозволять одержати оптимальні (прийнятні) варіанти комплектування АРТ, що, у свою чергу, буде націлено на підвищення ефективності процесів рятування людей, мінімізацію матеріальних збитків, наслідків природних та техногенних катастроф.

Потрібно також звертати увагу на технології формування інтегральної цільової функції, методів формування результату групового вибору за індивідуальними перевагами, оскільки такі задачі є параметричними та значною мірою суб'єктивізованими.

2.3. Особливості побудови інтегральної цільової функції

Розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки є однією із необхідних складових інтелектуалізації технологій гарантування безпечного середовища проживання людини. На практиці комплектування аварійно-рятувальної техніки здійснюється, виходячи із наявних коштів, досвіду, інтуїції особи, що приймає рішення, і меншою мірою, виходячи із спектру завдань, які необхідно вирішувати аварійно-рятувальному підрозділу. Відсутність системно-аналітичного підходу до вибору та комплектування техніки призводить до того, що не враховуються особливості території, на якій функціонує аварійно-рятувальний підрозділ, залишаються поза увагою результати частотного аналізу виникнення нештатних ситуацій та помилок особового складу через відсутність або поломки обладнання.

Комплектування аварійно-рятувальної техніки визначається такими аспектами:

- обсягами фінансів, які можуть бути витраченими на придбання техніки;
- прогнозованими значеннями можливих обсягів негативних наслідків аварій та катастроф;
- кількості населення, техногенної навантаженості території, що визначається підприємствами – потенційними осередками загроз;
- соціальним зрізом населення, що проживає на цій території.

Перед особою, що приймає рішення, постають задачі визначення вищезазначених параметрів. Оскільки такі величини мають об'єктивно- та суб'єктивно невизначений характер, то раціональним є використання методів

теорії ймовірностей та теорії нечітких множин. Прийняття рішень базується на гіпотезі про найбільш можливий варіант розвитку катастроф або аварій: із мінімально можливими, середніми або максимально можливими негативними наслідками. У залежності від цього і визначається варіант комплектування аварійно-рятувальної техніки, який, очевидно, залежить від масштабів прогнозованої аварії.

Завдання комплектування АРТ має особливості, до яких відносяться багатокритеріальність, різнорозмірність значень критеріальних функцій, слабкоструктурованість.

Одним із методів, який дозволяє звести задачу багатокритеріальної оптимізації до однокритеріальної та найчастіше зустрічається на практиці, є адитивна згортка. Оскільки складові критеріальні функції можуть бути складними поліекстремальними та негладкими залежностями, то раціональним є підхід, згідно з яким оптимізація таких функцій здійснюється з використанням еволюційних алгоритмів. З іншої сторони, крім об'єктивних критеріїв оцінювання комплектів АРТ, є і суб'єктивні критерії, адекватне застосування яких базується на використанні методів теорії нечітких множин, побудові функцій належності тощо. В [1] таким чином були визначені пріоритети критеріальних функцій та оптимальність того чи іншого варіанта комплектування АРТ, що дозволило зробити обґрунтований вибір.

Розглянемо аспекти формування інтегрального критерію (цільової функції), виходячи з відомих методів розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації [42]. Зауважимо, що функції (2.5) можуть як задаватись таблично, так і мати вигляд аналітичних залежностей.

1. Метод головного критерію. Припустимо, що головним критерієм є вартість елемента АРТ. Тоді задача (2.5) - (2.7) перетворюється до такого виду:

$$F_4(x) \rightarrow \min, x = (x_{i_1}^1, x_{i_2}^2, \dots, x_{i_m}^m), x_{i_j}^m \in C_j, \quad (2.42)$$

$$x \in D, D = \{x / F_{i_{\min}} < F_i(x), i = \overline{1,3}\}$$

(2.43)

і виконано (2.7). У задачі (2.42)-(2.43) $F_{j_{\min}}, i = \overline{1,3}$, – мінімально можливе значення i -го критерію. Таким чином, отримуємо задачу однокритеріальної оптимізації. Її розв’язання у випадку, коли відомі значення F_1, F_2, F_3, F_4 для всіх елементів, зводиться до пошуку

$$x_1^* = \min_{x \in D} F_4(x), \quad (2.44)$$

де D – область, в якій виконуються обмеження (2.6) і (2.7). Якщо $x_1^* \in D$, то розв’язок знайдено, якщо ні – здійснюємо пошук

$$x_2^* = \min_{\substack{x \in D \\ x \neq x_1^*}} F_4(x) \text{ і т.д.} \quad (2.45)$$

Якщо $\exists x_i^* : x_i^* = \min_{x \in D} F_4(x), x_i^* \in D$, то задача має розв’язок, у протилежному випадку – розв’язку немає.

2. Метод лінійної згортки. Необхідними умовами реалізації методу є:

- нормалізація значень критеріальних функцій;
- визначення вагових коефіцієнтів критеріїв.

Тоді інтегральний критерій буде таким:

$$F(x) = \alpha_1 F_1(x) + \alpha_2 F_2(x) + \alpha_3 F_3(x) - \alpha_4 F_4(x) \rightarrow \max, \quad (2.46)$$

де $\alpha_i > 0, i = \overline{1,4}, \sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$. Якщо відомі значення критеріальних функцій і інтегрального критерію на множині контрольних точок (елементах АРТ), то коефіцієнти $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ можуть бути розраховані, наприклад, за методом найменших квадратів. Однак, це не завжди можливо, тим більш, що швидше за все в масиві початкових даних матиме місце мультиколінеарність факторів і результат буде зміщеним. В інших випадках необхідно використовувати техніки обробки експертних оцінок.

3. Метод ідеальної точки. Ідеальною називається така точка $(x_1^*, x_2^*, x_3^*, x_4^*)$, що $x_i^* = \max_{x \in D} F_i(x)$, $i = \overline{1, 4}$. Розв'язавши задачу однокритеріальної оптимізації, ідеальна точка буде знайдена. Тоді подальше розв'язання полягає в пошуку точки

$$x^* = \text{Arg min}_{x \in D} \left(\sum_{i=1}^4 (F_i(x) - x_i^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2.47)$$

Значення критеріальних функцій повинні бути нормовані і якщо критеріальні функції мають вагові коефіцієнти, то задачу (2.47) перепишемо у вигляді:

$$x^* = \text{Arg min}_{x \in D} \left(\sum_{i=1}^4 \alpha_i (F_i(x) - x_i^*)^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (2.48)$$

де $\alpha_i > 0$, $i = \overline{1, 4}$, $\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$.

Існують й інші методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації, такі як вибір за кількістю домінуючих критеріїв, метод послідовних поступок, послідовного введення обмежень тощо, але всі вони вимагають залучення додаткової інформації, якої може і не бути. Тому для розв'язання нашої задачі ми зупинилися на вищенаведених трьох методах.

Комплект аварійно-рятувальної техніки у загальному випадку має виконувати всі релевантні функції з множини $F = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$. Нехай $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ – існуюча номенклатура (множина) елементів аварійно-рятувальної техніки. Якщо для $\forall i \in \{1, 2, \dots, n\} \exists! j \in \{1, 2, \dots, m\}$ таке, що s_j – елемент техніки, призначений для виконання функції f_i , то задача комплектування має єдиний розв'язок $R = \{s_{1j_1}, s_{2j_2}, \dots, s_{nj_n}\}$ за функціональністю, де s_{ij_i} – j -й елемент техніки, призначений для виконання i -ї функції. Звичайно, такий розв'язок має місце за умови, що $R \in \Omega$, де Ω – область обмежень на комплект техніки. Якщо $R \notin \Omega$, то тривіального розв'язку задача комплектування аварійно-рятувальної техніки не має. Зробивши такий висновок, у багатьох випадках припускають, що існує одна або декілька функцій, від яких можна відмовитись, попередньо зробивши висновок про те, що виконання таких функцій здійснює найменший

вплив на загальну ефективність комплекту техніки. Введемо поняття неповного комплекту. Неповним комплектом аварійно-рятувальної техніки є такий набір її елементів, що існує хоча б одна із функцій, яка не виконується жодним елементом з комплекту.

З урахуванням зроблених вище припущень задача комплектування аварійно-рятувальної техніки полягатиме у пошуку

$$\max_{r^* \in \Omega} (\max_{r^* \in S} E(r^*) - \min_{\substack{i_j \in \{1, n, i_j \neq i_k\} \\ r^* \in S, r^* \notin \Omega}} \{E(f_{i_1}), E(f_{i_1} \cup f_{i_2}), E(f_{i_1} \cup f_{i_2} \cup \dots \cup f_{i_{n-1}})\}), \quad (2.49)$$

де $E(r^*)$ – критерій ефективності комплекту техніки r^* , $E(f)$ – показник ефективності виконання комплектом техніки функції f . Задача (2.49) є оптимізаційною задачею з використанням штрафної функції і полягає у знаходженні такого неповного комплекту, який задовольняє обмеженням і має найменші втрати ефективності через невиконання певних функцій.

Задача має модифіковані постановки, оскільки існує варіант вибору такого комплекту, щоб він виконував максимальну кількість функцій і є варіант вибору комплекту з максимальною загальною ефективністю без урахування кількості виконуваних функцій. Очевидно, що формування цільових функцій у цих випадках матиме певні відмінності.

Розв'язання задачі (2.49) має певні особливості. Оскільки цільова функція має поліекстремальний характер, є негладкою, то для пошуку її оптимуму доцільно використати еволюційне моделювання, про особливості якого буде вказано у доповіді. Нетривіальним є також зведення задачі оптимізації показників ефективності до загальної однокритеріальної задачі оптимізації інтегрального критерію ефективності комплекту техніки.

Висновки до 2 розділу

Виконана постановка задачі комплектування аварійно - рятувальної техніки. Запропоновано технологію її рішення як завдання нечіткої багатокри-

теріальної оптимізації з використанням елементів методу аналізу ієрархій та методу побудови функцій належності на основі попарних порівнянь пріоритетності цільових функцій. Визначено обмеження, що дозволяють на етапі попереднього аналізу відсіяти неперспективні варіанти, і розглянуті можливості застосування інших методів, що відносяться до «м'яких» обчислень.

Розглянуто потенційні шляхи пошуку розв'язку задачі комплектування АРТ, в основі яких лежать методи, якими розв'язують задачі розміщення об'єктів в контейнерах, виходячи із їх габаритних розмірів. Досліджено також проблеми, пов'язані із застосуванням мінімаксних методів, методу ідеальної точки, методу поступок та їм подібних. Зроблено висновок про необхідність встановлення пріоритетів та первинності врахування інтегральної цільової функції, її окремих компонент та габаритних обмежень.

Оскільки гарантувати існування оптимального (прийняттого) розв'язку неможливо, то запропоновано використання штрафних функцій і здійснено їх структурну та параметричну ідентифікацію. Використання таких функцій дозволяє здійснювати певне погіршення цільової функції та пропонувати варіант комплектування АРТ, який, можливо, і не є найкращим розв'язком нашої задачі, але задовольняє обмеження.

Виконано аналіз проблеми комплектування аварійно-рятувальної техніки, який засвідчив такі її особливості як існуючу обмеженість фінансових ресурсів, значний ріст потужності елементної бази, прийняття рішень виключно на основі досвіду та інтуїції відповідальних осіб. Показано, що запропоновані раніше рішення базувались на врахуванні вартості обладнання, його надійності, функціональності та потужності, водночас поза увагою залишався аспект його застосовності або актуальності. Враховуючи значну кількість потенційних елементів обладнання, що можуть входити до комплекту, запропоновано обмеження, які дозволять скоротити кількість можливих варіантів на основі методу послідовного аналізу варіантів.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛІ ТА ЕВОЛЮЦІЙНІ МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ В ЗАДАЧІ КОМПЛЕКТУВАННЯ АВАРІЙНО- РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Розглянута задача комплектування аварійно-рятувальної техніки є складною багатокритеріальною задачею. Її складність залежить від якості елементів АРТ і носіїв, на які вони будуть встановлені. Нові зразки техніки, їх еволюція вказують на необхідність пошуку оптимального розв'язку задачі КАРТ. Технологія, яка пропонується, базується на елементах трьох складових: багатокритеріальної оптимізації, послідовного аналізу варіантів, еволюційного моделювання і об'єднує в собі їх переваги.

Перспективним є композиційне використання еволюційного моделювання та послідовного аналізу варіантів. Визначення порядку такого використання, оптимізація параметрів, дослідження точності становить самостійну актуальну наукову задачу. Автором проводяться експерименти з розробки швидкодіючих алгоритмів на основі запропонованого підходу. Крім того, оскільки більшість елементів АРТ мають багатоцільове призначення, різні аварійно-рятувальні задачі з їх допомогою можуть вирішуватися з різною ефективністю то завдання комплектування з урахуванням цього чинника вимагає застосування методів теорії нечітких множин.

У [90, 91, 128] запропоновано використання еволюційного моделювання для знаходження оптимального варіанта комплектування АРТ, оскільки цільова функція є поліекстремальною, негладкою залежністю. Але процес пошуку розв'язку задачі нашоується на необхідність визначення компромісу або пріоритетів між цільовою функцією та обмеженнями. Розглянемо еволюційний метод, що дозволяє уникнути такої проблеми й базується на застосуванні принципу домінування і елементів генетичного алгоритму.

3.1. Препроцесінг даних та основні напрямки оптимізації цільової функції

Оскільки розв'язок задачі може бути отриманий тільки методом повного перебору, а кількість можливих варіантів комплектування достатньо велика, то необхідно вилучити можливі варіанти розв'язку задачі, які строго домінуються хоча б одним із інших варіантів [85]. Зауважимо, що така операція може бути виконана на початку реалізації пошуку розв'язку задачі, якщо потужність множини варіантів порівняно невелика. Якщо це не так, то перевірка на домінування здійснюється у процесі розв'язання задачі для кожного елемента окремо.

На першому кроці необхідно здійснити попередню перевірку, чи не існує такого елемента АРТ, що

$$(a_q > \max\{a, b, c\}) \vee (b_q > \max\{a, b, c\}) \vee (c_q > \max\{a, b, c\}) \quad (3.1)$$

та чи не існує такого набору елементів АРТ, що

$$\left(\sum_{q=1}^3 a_q > \max\{a, b, c\}\right) \vee \left(\sum_{q=1}^3 b_q > \max\{a, b, c\}\right) \vee \left(\sum_{q=1}^3 c_q > \max\{a, b, c\}\right).$$

(3.2)

Якщо елементи або набори елементів, що задовольняють (3.1) або (3.2), відповідно, існують, то їх необхідно вилучити а ргіорі, або в процесі розв'язання задачі. Аналогічно, використовуючи схему послідовного аналізу варіантів, видаляємо варіанти, загальна функціональність або потужність яких менше мінімально можливої, а також ті, вартість яких перевищує допустиму величину.

Оскільки необхідно знайти оптимум функції, заданої таблично, при зазначених обмеженнях і про властивості якої нічого не відомо, то нам представляється раціональним застосування еволюційного моделювання [2, 34, 41, 51, 52]. Вибір методу еволюційного моделювання є прерогативою дослідника.

Припустимо, що ми використовуємо генетичний алгоритм [32]. Відомо, що його реалізацію супроводжують дві проблеми: формування цільової фун-

кції та представлення потенційних розв'язків у вигляді бінарних хромосом. У нашій задачі цільова функція вже отримана. Для формування хромосом – розв'язків запропонуємо такий підхід. Оскільки розв'язок є набором з m елементів, то і довжина хромосоми буде m . Кожна її позиція відповідає одному елементу АРТ. Всі елементи хромосоми належать одному класу.

Кожен елемент має 5 фрагментів. Перший відповідає значенню функціональності, другий – потужності, а третій – вартості, четвертий – ціні, п'ятий – актуальності елемента обладнання. Таким чином, хромосома – розв'язок матиме $5m$ фрагментів. На початковому етапі всі значення характеристик елементів були нормовані, їх значення знаходяться на відрізку $[0,1]$. Далі застосовуються всі відомі процедури генетичного алгоритму. Зауважимо, що отриманий розв'язок може не відповідати ні одному потенційному варіанту. Тоді необхідно знайти найближчий до нього розв'язок за критерієм мінімуму середньоквадратичної відстані. Застосування генетичного алгоритму є переважним у тому випадку, коли відомі значення часткових критеріальних функцій. Для розв'язання задачі також раціональним є застосування еволюційних стратегій [13].

3.2. Метод розв'язання задачі комплектування АРТ при нечітких експертних перевагах

У подальшому викладі будемо використовувати школу порівнянь, запропоновану проф. Т. Сааті [42]. Так, значення елементів матриці попарних порівнянь сутностей А і В будуть такими:

- 1, якщо сутність А і сутність В має рівну важливість;
- 3, якщо сутність А помірно перевершує сутність В;
- 5, якщо сутність А має істотну перевагу над сутністю В;
- 7, якщо сутність А значно перевершує сутність В;
- 9, якщо сутність А має дуже сильну перевагу над сутністю В;
- 2,4,6,8 – відповідають проміжним твердженнями про важливість.

Якщо при порівнянні А і В маємо одне з вищевказаних чисел, то при порівнянні В з А отримаємо обернену величину.

Визначимо пріоритети критеріальних функцій. Для цього виберемо m експертів, які, використовуючи шкалу, запропоновану Т. Сааті [42], здійснюють їх порівняння. Отримаємо матриці

$$G_i = \begin{pmatrix} 1 & g_{12}^i & g_{13}^i & g_{14}^i \\ 1/g_{12}^i & 1 & g_{23}^i & g_{24}^i \\ 1/g_{13}^i & 1/g_{23}^i & 1 & g_{34}^i \\ 1/g_{14}^i & 1/g_{24}^i & 1/g_{34}^i & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1, m}. \quad (3.3)$$

Припустимо, що компетентність w_i кожного з експертів відома (якщо це не так, то компетентність можна визначити, використовуючи метод, запропонований в [6]) і $\sum_{i=1}^m w_i = 1$.

Очевидно, що висновки експерта при розв'язанні задачі порівняння альтернатив часто бувають неузгоджені. Для здійснення можливості урахування цього чинника для кожної матриці $G_i, i = \overline{1, m}$, знайдемо індекс узгодженості, що дорівнює абсолютній величині відхилення розмірності матриці G_i і її максимального власного числа, тобто $\delta_i = |4 - q_i|, i = \overline{1, m}$. Менше значення δ_i відповідає кращій узгодженості порівнянь експерта. Якщо δ_i досить велике, то матрицю, що відповідає висновкам такого експерта, необхідно виключити з розгляду або здійснити певні уточнюючі процедури.

На наступному кроці здійснюємо додавання елементів матриць $G_i, i = \overline{1, m}$, що знаходяться над головною діагоналлю з відповідними ваговими коефіцієнтами. Інші елементи результуючої матриці G знайдемо як обернені величини до вже обчислених елементів. Маючи матрицю G , визначимо пріоритети критеріальних функцій [5] за формулою

$$p_i = \frac{(\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}{\sum_{i=1}^4 (\prod_{j=1}^4 g_{ij})^{\frac{1}{4}}}, i = \overline{1,4}. \quad (3.4)$$

Таким чином, ми встановили важливість критеріальних функцій при визначенні того чи іншого варіанту комплектування АРТ.

На наступному кроці необхідно оцінити варіанти комплектування АРТ по кожному з критеріїв $F_i, i = \overline{1,4}$. Припустимо, що після проведення попереднього аналізу та перевірки виконання обмежень залишилося p можливих варіантів. Аналогічно попередньому кроку необхідно отримати чотири матриці Q_i , елементи кожної з яких містять значення парних порівнянь варіантів комплектування за критеріями $F_i, i = \overline{1,4}$. Отримати матриці можна двома способами. У першому з них елементи матриці визначають традиційно, виходячи з висновків експертів для всіх пар варіантів. Оскільки число таких варіантів навіть в найбільш малорозмірних завданнях досить велике, тому матриця попарних порівнянь буде погано узгодженою та її аналіз і застосування в подальших розрахунках стає проблематичним. Раціональним представляється використовувати інший спосіб отримання матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$ [7,8]. Для цього необхідно визначити лише значення попарних порівнянь для одного варіанта комплектування АРТ, наприклад, для першого. Всі інші елементи матриць розраховуються за формулою: $q_{kl} = \frac{q_{1l}}{q_{1k}}, k, l = \overline{1,p}$. Отримаємо такі матриці:

$$Q_i = \begin{pmatrix} 1 & q_{12}^i & q_{13}^i & \dots & q_{1p}^i \\ 1/q_{12}^i & 1 & q_{13}^i/q_{12}^i & \dots & q_{1p}^i/q_{12}^i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1/q_{1p}^i & q_{12}^i/q_{1p}^i & q_{13}^i/q_{1p}^i & \dots & 1 \end{pmatrix}, i = \overline{1,4}. \quad (3.5)$$

Матриці $Q_i, i = \overline{1,4}$ є добре узгодженими. Далі обчислюємо ступені належності кожного з варіантів комплектування відповідним нечітким множинам (що визначаються критеріальними функціями):

$$\mu(K_j) = \frac{1}{wk_{1j} + wk_{2j} + \dots + wk_{pj}}, j = \overline{1, p}, \quad (3.6)$$

де wk_{ij} – елементи матриць $Q_i, i = \overline{1, 4}$. Таким чином, отримаємо нечіткі множини:

$$\tilde{F}_i = \left\{ \frac{\mu_{\tilde{F}_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\mu_{\tilde{F}_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\mu_{\tilde{F}_i}(K_p)}{K_p} \right\}, \quad (3.7)$$

або

$$\tilde{F}_i = \left\{ \frac{1 / (1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i})}{K_1}; \frac{1 / (1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{12}^i}{q_{1j}^i})}{K_2}; \dots; \frac{1 / (1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1p}^i}{q_{1j}^i})}{K_p} \right\}, i = \overline{1, 4}. \quad (3.8)$$

Значення, що знаходяться в чисельнику, вказують на те, наскільки функціональні, потужні, надійні і прийнятні за ціною варіанти комплектування (у знаменнику).

Враховуючи, що найкращим є той варіант, який одночасно кращий за усіма критеріями, нечітке рішення \tilde{F} знаходимо як перетин критеріїв \tilde{F}_i :

$$\tilde{F} = \tilde{F}_1 \text{ I } \tilde{F}_2 \text{ I } \tilde{F}_3 \text{ I } \tilde{F}_4 = \left\{ \frac{\min_{i=1,4} \mu_{\tilde{F}_i}(K_1)}{K_1}; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{\tilde{F}_i}(K_2)}{K_2}; \dots; \frac{\min_{i=1,4} \mu_{\tilde{F}_i}(K_p)}{K_p} \right\}. \quad (3.9)$$

Найкращим варіантом є той, який є розв'язком задачі пошуку

$$\arg \max_{j=1, p} \min_{i=1, 4} \mu_{\tilde{F}_i}(K_j). \quad (3.10)$$

Якщо враховувати важливість критеріальних функцій, то підхід до визначення оптимального варіанту комплектування залишається незмінним, а вираз (3.7) перепишеться таким чином:

$$\tilde{F}_i = \left\{ \frac{(1 / (1 + \sum_{j=1}^p \frac{1}{q_{1j}^i}))^{p_i}}{K_1}; \frac{(1 / (1 + q_{12}^i + \sum_{j=3}^p \frac{q_{12}^i}{q_{1j}^i}))^{p_i}}{K_2}; \dots; \frac{(1 / (1 + q_{1p}^i + \sum_{j=2}^{p-1} \frac{q_{1p}^i}{q_{1j}^i}))^{p_i}}{K_p} \right\}, i = \overline{1, 4}. \quad (3.11)$$

Рішення задачі (3.10) визначає оптимальний варіант комплектування та дозволяє враховувати міру оптимальності його вибору, виходячи із значення відповідної функції належності.

Розглянутий метод комплектування АРТ є тільки одним можливим елементом технологій прийняття рішень, що базується на використанні теорії нечітких множин, яка є однією зі складових парадигми «Soft Computing» [47, 48]. І хоча не всі її положення мають строгі доведення, їх застосування є доцільним при вирішенні завдань, пов'язаних з необхідністю врахування суб'єктивних висновків. Такою задачею і є комплектування АРТ. Розглядаючи її як задачу багатокритеріальної оптимізації, важливо звертати увагу на значущість критеріальних функцій, оскільки їх врахування прямо впливає на вибір розв'язку – варіанту комплектування.

До важливих аспектів, які необхідно враховувати при розв'язанні задачі, відноситься наявність змінної кількості елементів у кожному варіанті комплектації. Така обставина вимагає формального визначення критеріальних функцій, оскільки для різного типу обладнання поняття і одиниці вимірювання функціональності і потужності є різними. Експертам повинна бути доступна інформація про порівняльні характеристики елементів АРТ одного класу, а також передбачена можливість приведення різнорідних показників до однієї шкали.

Запропонований метод, крім переваг, має і певні недоліки. Так, він орієнтований на певну кількість варіантів комплектування, яке не може змінитися в процесі аналізу і отримані результати не можуть бути використані для оцінки нового варіанту комплектування. Подолати обмеження методу передбачається з використанням й інших складових «Soft Computing», а саме нейронних мереж, еволюційного моделювання, нейро-нечітких мереж, а також їх композиції. Це дозволить здійснювати оцінювання того чи іншого варіанту комплектування АРТ на основі вже побудованої моделі. Крім того, можливо здійснити розробку процедури усунення протиріч в оцінках експертів, що буде спрямоване на певну об'єктивізацію суб'єктивних висновків [42].

Сучасні технології оптимізації складних поліекстремальних залежностей відрзняються своєю різноаспектністю та суб'єктивністю. Незважаючи на всю різноманітність моделей та методів оптимізації, вчені не зупиняються у пошуку нового найкращого найуніверсальнішого методу оптимізації [45, 46]. В основі таких моделей та методів лежать парадигматичні основи та ідеї, які інспіровані живою природою [43] і подібно тому, як у природі відбуваються адаптивні процеси, науковці прагнуть наслідувати їх кроки та розв'язувати практичні задачі оптимізації [68].

3.3. Еволюційний метод визначення оптимального варіанту комплектування АРТ на основі використання елементів генетичного алгоритму.

Задача вибору оптимального або прийняттого варіанту комплектування АРТ має комбінаторний характер. Для її розв'язання використовуємо ідеї та елементи генетичного алгоритму [77, 83, 90, 102, 119]. Основним його елементом є хромосома – потенційний розв'язок задачі. Як було зазначено раніше [37, 98], хромосома буде складатися з m фрагментів, кожен з яких буде розділений на чотири ділянки. Припустимо, що все обладнання АРТ має унікальні габаритні розміри і виходячи з розмірів, можливе здійснення його ідентифікації. Тоді кожен з m фрагментів відповідає обладнанню певного класу, а його складові – довжині, ширині і висоті відповідного прямокутного паралелепіпеда. Довжину хромосоми-розв'язку визначимо таким чином. Відомо, що $|X| = n$, а $|C_j| = n_j$, $j = \overline{1, m}$. Тоді для кодування елемента АРТ класу C_j необхідно $l_j = \lceil \log_2 n_j \rceil + 1$ позицій. Тоді довжина хромосоми-розв'язку
$$L = \sum_{j=1}^m l_j = \sum_{j=1}^m \lceil \log_2 n_j \rceil + m.$$
 Оскільки деякі бінарні представлення не матимуть реальних аналогів, то виникає інформаційна надлишковість і, як наслідок, необхідність реалізації відповідної перевірки. Очевидно, що як допоміжні операції необхідно передбачити перетворення

$$Z \rightarrow B, B \rightarrow Z \rightarrow \{a_i, b_i, c_i\}, \quad (3.12)$$

де Z – множина цілих чисел, B – множина бінарних представлень, a_i, b_i, c_i – габаритні розміри обладнання.

Хромосоми- розв'язки будуть такими:

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 12 & 3 & \text{-----} & 14 \\ \hline \end{array}, \text{ або}$$

$$\begin{array}{|c|c|c|c|} \hline 01100 & 0011 & \text{-----} & 01110 \\ \hline \end{array}.$$

Метод розв'язання задачі КАРТ, що базується на використанні генетичного алгоритму, має такі кроки :

Крок 1. Виконати препроцесінг даних, визначити основні параметри алгоритму.

Крок 2. Задавши структуру потенційного розв'язку, сформувати генеральну популяцію.

Крок 3. Визначити розмір H вибіркової сукупності та згенерувати її елементи, що мають таку структуру:

$$K_j = \langle \text{random}\{1, 2, \dots, n_1\}, \text{random}\{1, 2, \dots, n_2\}, \dots, \text{random}\{1, 2, \dots, n_m\} \rangle, j = \overline{1, H}.$$

Крок 4. Для кожного потенційного розв'язку-комплекту АРТ $K_j, j = \overline{1, H}$ знайти значення інтегральної цільової функції (fitness-function) F_j і обчислити

різницю $V_j = a \cdot b \cdot c - \sum_{k=1}^m v_k$, що вказує на об'єм вільного місця після заповнен-

ня контейнера, $v_k, k = \overline{1, m}$ – об'єм, займаний k -м елементом.

Крок 5. Вибрати два розв'язки K_i і K_j з ймовірностями, пропорційними значенням їх цільових функцій. Рекомбінацію реалізувати одним із таких способів.

Крок 5.1. Розіграти випадкове число $\beta \in \{1, 2, \dots, \prod_{l=1}^m n_l - 1\}$, у відповідній точці розірвати хромосоми-рішення K_i і K_j та обміняти їх частинами. Отримаємо два розв'язки-нащадки K_i^* і K_j^* .

Крок 5.2. Розіграти m випадкових чисел $\beta_l \in \{1, 2, \dots, n_l\}$, $l = \overline{1, m}$ і розірвати хромосоми-розв'язки K_i і K_j у відповідних m точках і обміняти фрагменти елементи АРТ частинами, отримавши рішення K_i^* і K_j^* .

Крок 6. Помістити розв'язки K_i^* і K_j^* у проміжну вибірку, попередньо з ймовірністю $P_m \approx 0,005$ здійснивши над K_i і K_j мутацію одним із наступних способів.

Крок 6.1. Розіграти випадкове число $\gamma \in \{1, 2, \dots, \prod_{l=1}^m n_l\}$ та інвертувати відповідний біт.

Крок 6.2. Розіграти випадкові числа $\gamma_l \in \{1, 2, \dots, n_l\}$, $l = \overline{1, m}$ та інвертувати відповідні біти.

Крок 7. Виконавши кроки 5 і 6 H разів, повністю сформувати проміжну вибірку. Серед елементів початкової вибірки і проміжної вибірки визначити кращі H розв'язків, виходячи з значень цільової функції, і сформувати з них вибірку наступного покоління.

Крок 8. Якщо не виконано критерій зупинки, то перейти на крок 4, інакше – кінець алгоритму.

Реалізація алгоритму має деякі особливості. Представимо їх у вигляді зауважень.

Зауваження 1. У запропонованому методі реалізований принцип домінування, відповідно до якого більш пріоритетним є розв'язок, що має більшу ефективність, незважаючи на габаритні розміри комплекту АРТ.

Зауваження 2. Значення V_j можуть використовуватися як значення цільової функції, тобто цільова функція подана як різниця

$$F^* = F_j - \eta / V_j, \quad (3.13)$$

де η – коефіцієнт, який вказує на вагу функції штрафу у порівнянні з ефективністю комплекту АРТ.

Зауваження 3. Обчислення коефіцієнта η пов'язане з аналізом додаткових факторів предметної області і залежно від них значення η може бути різним.

Зауваження 4. Реалізація рекомбінації різними способами має свої особливості. Якщо більшість варіантів КАРТ, виходячи зі значень цільової функції, близькі один до іншого, то доцільно використовувати спосіб, реалізований на кроці 5.2, оскільки це дозволить посилити різноманітність варіантів, що розглядаються за менший час і визначити оптимальний розв'язок. Якщо ж варіанти КАРТ мають деяким чином виражені оптимальні підмножини, то тоді раціонально зупинитися на кроці 5.1, що дозволить уникнути руйнувань близьких і оптимальних варіантів і зменшити час обчислень, оскільки цей фактор для генетичних алгоритмів важливий.

Зауваження 5. Кроки методу можна модифікувати, підсиливши його обчислювальні характеристики. Зокрема, перспективним видається пошук оптимального варіанту з протекцією. Реалізувати його можна таким чином. Здійснюємо одноточкову рекомбінацію (крок 5.1). Порівнюємо $F(K_i)$ і $F(K_j)$ з $F(K_i^*)$ і $F(K_j^*)$. Якщо

$$\max_{p,q \in \{i,j\}} |F(K_p) - F(K_q^*)| < \delta, \quad (3.14)$$

де δ – досить мале задане число, то елемент класу, якому відповідає точка рекомбінації, не здійснює значного впливу на інтегральну цільову функцію і від його подальшої участі у процедурі рекомбінації можна відмовитися.

Наведений розв'язок задачі (2.5)-(2.7) є лише одним із можливих, для його одержання використано принцип домінування та генетичний алгоритм. Адекватність розв'язку впливає із поліекстремального характеру цільової

функції та табличного характеру вихідних даних. Відомо, що використання класичних методів для розв'язання такого типу задач, які базуються на інтегро-диференціальному численні, є проблематичним. Тому еволюційні технології, в основі яких лежить випадковий, але направлений пошук є чи не єдиним способом розв'язати поставлену задачу [117].

3.4. Еволюційний метод визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі використання елементів еволюційної стратегії

Еволюційна стратегія є відомим методом глобальної оптимізації [64, 72]. Використаємо її ідеї та основні елементи для пошуку оптимального варіанту комплектування АРТ. Відповідний метод на макрорівні має такі кроки.

Крок 1. Формування ініціальної популяції можливих розв'язків задачі комплектування АРТ.

Крок 2. Ініціалізація значень параметрів алгоритму, середньоквадратичних відхилень та встановлення обмежень.

Крок 3. Обчислення значень цільової функції та генерування потенційних розв'язків-нащадків.

Крок 4. Обчислення значень цільової функції для розв'язків-нащадків та упорядкування розв'язків-батьків і розв'язків-нащадків, вибір серед них найкращих та формування батьківської популяції потенційних розв'язків наступного покоління.

Крок 5. Перевірка критерію зупинки.

Розглянемо кожен із кроків детально. Для формування ініціальної популяції потенційних розв'язків задачі комплектування АРТ необхідно з'ясувати, скільки елементів обладнання міститься у кожному класі. Припустимо, що кількість класів є m . Тоді j -й клас обладнання містить m_j елементів облад-

нання (варіантів), $j = 1, m, m_j \in N$. Потенційний розв'язок матиме таку структуру:

$$X_j = \{random(1..m_1), random(1..m_2), \dots, random(1..m_m)\}, j = \overline{1, 20}. \quad (3.15)$$

Вище зроблено припущення що множина потенційних розв'язків P_0 має потужність 20, тобто $|P_0| = 20$. Зауважимо, що кожен компонент вектора X_j є натуральним числом. Зауважимо, що без обмеження загальності, що експерт вважає два можливих елементи i -й та $(i+1)$ -й із одного класу обладнання емпірично ближчими ніж, наприклад, i -й та $(i+2)$ -й.

На другому кроці алгоритму потрібно знайти номер середнього можливого елемента обладнання кожного класу. Одержимо вектор середніх

$$\overline{X}_j = \left(\left[\frac{1+2+\dots+m_1}{m_1} \right], \left[\frac{1+2+\dots+m_2}{m_2} \right], \left[\frac{1+2+\dots+m_m}{m_m} \right] \right). \quad (3.16)$$

Позначимо $[x]$ – цілу частину числа x , тобто найбільше ціле число, яке не перевищує x . Далі знаходимо середньоквадратичне відхилення для кожного елемента вектора X_j (позначимо $\overline{X}_{ji} = \frac{1+2+\dots+m_i}{m_i}$ – i -й елемент вектора \overline{X}_j).

$$\sigma_j = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_1} (i - \overline{X}_{j1})^2}{m_1}}, \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_2} (i - \overline{X}_{j2})^2}{m_2}}, \dots, \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{m_m} (i - \overline{X}_{jm})^2}{m_m}} \right), j = \overline{1, 20}. \quad (3.17)$$

На третьому кроці знаходимо значення цільової функції $F_j = F(X_j) \forall j = \overline{1, 20}$.

Далі, згідно класичного генетичного алгоритму потрібно генерувати розв'язки-нащадки, забезпечивши виконання правила 1:7, тобто в одного батьківського розв'язку має бути не менше 7 розв'язків-нащадків. У нашому методі припустимо, що кількість розв'язків-нащадків одного батьківського розв'язку дорівнює 7.

Розглянемо два способи генерування розв'язків-нащадків потенційного розв'язку X_j . У першому варіанті розіграємо рівномірно розподілене число з множини $\{1, 2, \dots, m\}$. Нехай це число q . Тоді у розв'язка-нащадка всі компоненти крім q -ї, залишаться без змін. На місці q -ї компоненти буде розміщено розігране натуральне число із відрізка $[\overline{X_{jq}} - 3\sigma_{jq}; \overline{X_{jq}} + 3\sigma_{jq}]$. Такі дії повторюються сім разів і батьківський розв'язок X_j породжує множину розв'язків-нащадків $X_j \rightarrow (X_j^1, X_j^2, \dots, X_j^7)$. Такі операції повторюються для кожного з 20-ти потенційних батьківських розв'язків. Батьківські потенційні розв'язки і потенційні розв'язки-нащадки записуються у проміжну популяцію R .

У другому варіанті модифікації будуть піддаватись усі компоненти батьківського-розв'язку. Це означає, що для батьківського розв'язку X_j для кожної його компоненти будуть розіграні рівномірно розподілені числа з відрізків $[\overline{X_{jq}} - 3\sigma_{jq}; \overline{X_{jq}} + 3\sigma_{jq}]$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, 20}$ і цими числами буде виконана заміна відповідних компонент батьківського розв'язку. Такі операції будуть виконані для кожного з семи розв'язків-нащадків 20-ти батьківських розв'язків. Батьківські потенційні розв'язки і потенційні розв'язки нащадки заносяться у проміжну популяцію R .

На четвертому кроці знаходимо значення цільової функції для потенційних розв'язків-нащадків

$$F_{ij} = F(X_j^i), i = \overline{1, 7}, j = \overline{1, 20}. \quad (3.18)$$

Впорядковуємо батьківські розв'язки та розв'язки-нащадки за спаданням значень цільової функції. Вибираємо із них 20 кращих та формуємо популяцію наступної епохи P_1 .

Далі потрібно перевірити, чи виконується умова зупинки. Такою умовою може бути досягнення певної кількості ітерацій чи відсутність помітної динаміки у значеннях цільової функції на сусідніх епохах (мінімальних, сере-

дніх чи максимальних). Якщо умова зупинки не виконується, то необхідно перейти на крок 3, в іншому випадку – закінчення алгоритму. □

Задача КАРТ є слабо структурованою і важкоформалізованою, а в умовах фінансового та ресурсного дефіциту – безумовно актуальною. Наведені формалізація та розв’язання задачі є лише одними з можливих. Їх адекватність впливає з поліекстремального характеру цільової функції і табличного характеру вихідних даних. Відомо, що використання класичних методів, які базуються на інтегро-диференціальному численні є проблематичним, а то і неможливим. Тому еволюційні технології, в основі яких лежить випадковий, але спрямований пошук є чи не єдиним способом розв’язати поставлену задачу. Зауважимо, що в задачі КАРТ значну увагу приділено побудові цільової функції і запропонована структура, яка є відкритою до внесення змін і доповнень. У перспективі необхідно розв’язати задачу візуального моделювання процесу пакування АРТ, оскільки отримані результати вказують тільки на можливість існування оптимального варіанту комплектування АРТ, але не дають відповідь на питання про те, яким чином можна здійснити його упаковку в контейнер.

Застосування методів еволюційного моделювання дозволило розв’язати багато практичних задач, які не можна було розв’язати іншими методами. У той же час конструктивна реалізація генетичного алгоритму та й інших еволюційних методів нашою хується на проблему визначення компромісу між цільовими функціями і обмеженнями [14]. Запропонований метод дозволяє уникнути зазначених вище проблем, шляхом введення та застосування принципу домінування та основних елементів генетичного алгоритму [86].

Результати проведених експериментів свідчать про значну перевагу розробленого методу в порівнянні з відомими методами головного критерію, ідеальної точки та інших, результати яких носять в порівнянні з розробленим методом, швидше попередній характер.

3.5. Метод побудови критерію актуальності аварійно-рятувального

обладнання

Відомо, що можливі небезпеки (R) для регіонів класифікують таким чином [87, 94]:

- небезпеки соціального характеру (R_1);
- небезпеки техногенного характеру (R_2);
- пожежі (R_3);
- небезпеки природного характеру (R_4);
- інші небезпеки (R_5).

Кожен клас небезпек, у свою чергу, ділиться на ситуації, аварії чи катастрофи. Тому, кожен надзвичайну ситуацію будемо позначати R_{ij} , де i – клас ситуації, $i = \overline{1,5}$, j – номер ситуації в класі, $j = \overline{1, J_i}$.

Припустимо, що всього може бути одержано N комплектів обладнання. Кожен комплект K_i обладнання має однакову кількість елементів (ЕО), $i = \overline{1, M}$, причому кожен елемент належить до певного класу АРО. Позначимо класи АРО $C_j, j = \overline{1, M}$ і вважатимемо, що $\forall i, j \ i \neq j : C_i \cap C_j = \emptyset$. Такі припущення носять спрощуючий характер, але не обмежують загальності, оскільки їх можна послабити.

Розглянемо першу задачу. Припустимо, що в кожному комплекті обладнання є M ЕО, потужність класів відома і становить $|C_j| = m_j, \forall j \in \{1, 2, \dots, M\}$. Тоді загальна кількість комплектів становитиме

$$L = \prod_{j=1}^M m_j.$$

Як правило, число L є великим і здійснити вибір оптимального комплекту за багатьма критеріями – процедура надто трудомістка. Тому, необхідно скоротити їх кількість, застосовуючи кроки, аналогічні крокам методу послідовного аналізу варіантів [59, 110]. На першому кроці вилучимо ті комплекти, в яких хоча б один елемент має хоча б один габарит, який є більшим найбільшого габариту контейнера, тобто, якщо

$$\exists e_j : \max\{a_j, b_j, c_j\} > \max\{a, b, c\}, \quad (3.19)$$

то комплект вилучаємо з розгляду. У виразі (3.19) e_j – j -й ЕО в комплекті, a_j, b_j, c_j – його ширина, висота і глибина, a, b, c – ширина, висота і глибина контейнера, відповідно. На другому кроці вилучаємо ті комплекти, сумарні найменші габарити яких є більшими найбільшого габариту контейнера, тобто, якщо

$$\sum_{j=1}^M \min \{a_j, b_j, c_j\} > \max \{a, b, c\}. \quad (3.20)$$

І третя умова: якщо існує такий комплект обладнання E_j , що

$$F_1^j > F_{1max})V(F_2^j < F_{2max})V(F_3^j < F_{3max})VV(F_4^j < F_{4max})V(F_5^j < F_{5max}),$$

де F_{1max} – максимально можливе значення ціни, F_{imin} – мінімально можливі значення інших критеріїв (надійність, потужність, функціональність, невраховані фактори), $j = \overline{1, L}$, $i = \overline{2, 5}$, то комплект теж вилучаємо. У результаті виконання таких дій кількість можливих комплектів значно скоротиться.

Впорядкуємо елементи кожного класу всередині класу. Припустимо, що клас C_j має m_j елементів, елемент класу позначимо E_{jk} , $k = \overline{1, m_j}$, $j = \overline{1, M}$. Експертним шляхом, використовуючи метод аналізу ієрархій [31, 116], визначимо пріоритети w_i критеріїв F_i , $i = \overline{1, 5}$. Далі розрахуємо пріоритети v_{jki} кожного елемента класу e_{jk} за кожним із критеріїв F_i , $i = \overline{1, 5}$. Зауважимо, що значення пріоритетів потрібно нормувати, тоді одержимо, що $\sum_{i=1}^5 w_{ji} = 1$ і $\forall i \in \{1, 2, \dots, 5\} \sum_{k=1}^{m_j} v_{jki} = 1$, $j = \overline{1, m}$. Загальні значення пріоритетів елементів e_{jk} класу C_j знаходимо так:

$$\gamma_k = \sum_{i=1}^5 w_{ji} \cdot v_{jki}, k = \overline{1, m_j}. \quad (3.21)$$

Після нормування $\gamma'_k \in (0, 1)$ і $\sum_{k=1}^{m_j} \gamma'_k = 1$. Знаючи пріоритети ЕО кожного класу, їх можна впорядкувати за спаданням пріоритетів. Якщо наведену вище процедуру виконував один експерт, то комплект обладнання, який складається з перших елементів у своїх впорядкованих класах, буде шуканим. Якщо з певних причин він виявиться неприйнятним, то необхідно вилучити

найгірший елемент з найкращих та замінити його на наступний за рангом у цьому класі. У випадку негативних результатів цю процедуру необхідно повторити.

Якщо в оцінюванні та впорядкуванні альтернатив бере участь декілька експертів, то побудовані ними індивідуальні порядки на множині ЕО та значення пріоритетів будуть відрізнятись. Одним із варіантів розв'язання задачі є апріорне визначення компетентності експертів. У залежності від рівня знань особи, що приймає рішення (ОПР), та інформації про самих експертів, розрізняють процедури встановлення компетентності експертів в детермінованих умовах та умовах невизначеності на основі аксіоми незміщеності [124]. При кількості експертів l , їх компетентностях $\mu_i \in (0,1), i = \overline{1, l}, \sum_{i=1}^l \mu_i = 1$, визначених індивідуальних пріоритетах ЕО $\gamma'_{ki} \in (0,1), \sum_{k=1}^{m_j} \gamma'_{ki} = 1 \forall i \in \{1, 2, \dots, l\}$ колективні пріоритети ЕО розраховуємо так:

$$\gamma_k'^* = \frac{\sum_{i=1}^l \mu_i \gamma'_{ki}}{\sum_{k=1}^{m_j} \sum_{i=1}^l \mu_i \gamma'_{ki}}. \quad (3.22)$$

Можливий також варіант, коли експерт не може кількісно оцінити або пріоритети критеріїв, або пріоритети ЕО за кожним критерієм, але може впорядкувати ЕО. Тоді, якщо експерт один, задача зводиться до попередньої – достатньо взяти кращі елементи в класах. Якщо ж експертів багато і їх індивідуальні порядки розрізняються, то можна застосувати алгоритм визначення медіани Кука-Сейфорда для метрики неспівпадань рангів [66, 100], та у випадку рівної компетентності експертів одержати колективний порядок. Якщо є експерти різнокомпетентні, то необхідним є застосування додаткових евристичних процедур.

Здійснимо об'єктивізацію процесів прийняття рішень експертами щодо пріоритетності комплектів АРТ. Припустимо, що є відомими дані про надзвичайні ситуації (НС) за таким форматом:

$$\langle ID, D, CN, TN, TE, PG, RG, MZ, RZ, NC, RGN, RZN \rangle,$$

де ID – ідентифікатор НС, D – дата, коли трапилась НС; CN – клас НС; TN – тип НС (наприклад, пожежа в лісі, дорожньо-транспортна пригода, пожежа в будівлі, повінь тощо);

TE – використаний ЕО;

PG – кількість потенційних жертв (не використовувався жоден, або певний ЕО);

RG – кількість реальних жертв (деякі ЕО могли використовуватись);

MZ – обсяг потенційних збитків;

RZ – обсяг реальних збитків;

NC – необхідний ЕО (ЕО, який був потрібен для ліквідації НС, але його в наявності не було);

RGN – кількість реальних жертв, якщо б застосовувався необхідний ЕО ($RGN \leq RG \leq PG$);

RZN – обсяг збитків, якщо б застосовувався необхідний ЕО.

Зауважимо, що у випадку відсутності декількох ЕО, записи для кожного необхідного ЕО за вищенаведеним форматом вносяться в базу окремо. Розглянемо задачу визначення актуальності обладнання по відношенню до кількості людських жертв. Зауважимо, що кількість реальних жертв співпадає з кількістю потенційних жертв у випадку відсутності всіх потрібних ЕО. Кількість реальних жертв – це кількість потенційних жертв мінус кількість врятованих з використанням наявних ЕО [44, 101, 112, 122]. Таким чином, кількість врятованих визначається такою залежністю:

$$PG - RG = f(EO_1, EO_2, \dots, EO_N), \quad (3.23)$$

де N – кількість наявних ЕО. Для кожної надзвичайної ситуації можна побудувати таблицю, що містить об'єктивно-суб'єктивні дані та має таку структуру (табл. 3.1).

Таблиця 3.1. Структура даних про використання елементів обладнання

	Врятовано ($PG - RG$)	Не врятовано (RG)	
	Завдяки використанню	Могли б врятувати,	Не могли вря-

№	елементів обладнання				використовуючи елементи обладнання				тувати у будь-якому випадку
	EO_1	EO_2	...	EO_N	EO_1	EO_2	...	EO_N	
1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1N}	b_{11}	b_{12}	...	b_{1N}	c_1
2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2N}	b_{21}	b_{22}	...	b_{2N}	c_2
...
K	a_{K1}	a_{K2}	...	a_{KN}	b_{K1}	b_{K2}	...	b_{KN}	c_K
S	A_1	A_2	...	A_N	B_1	B_2		B_N	C

За даними табл. 3.1 (S – сума додатних елементів стовпчика) можна знайти загальну кількість врятованих і загиблих, кількість людей, яких вдалось врятувати завдяки використанню певного ЕО, та кількість людей, яких можна було б врятувати завдяки певному ЕО, яке на момент НС було відсутнім.

Визначимо показники:

η_{11} – загальна кількість НС, у яких EO_1 застосовувався, оскільки це було потрібним;

η_{21} – загальна кількість НС, у яких EO_1 не застосовувався, оскільки не було необхідності, але він був у комплекті;

η_{31} – загальна кількість НС, у яких EO_1 не застосовувався, оскільки його не було у комплекті, але необхідність у його використанні була;

η_{41} – загальна кількість НС, у яких EO_1 не застосовувався, оскільки його не було у комплекті і не було необхідності у використанні.

У табл. 1.

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & j - \text{й ЕО не був потрібен,} \\ -1, & j - \text{й ЕО був відсутній,} \\ a, & a \in N, \end{cases}$$

$$b_{ij} = \begin{cases} 0, & j - \text{й ЕО не був потрібен,} \\ b, & b \in N. \end{cases}$$

Тоді

$$\eta_{1l} = \sum_{i=1}^K \chi\{a_{il} \neq 0 \& a_{il} \neq -1\};$$

$$\eta_{2l} = \sum_{i=1}^K \chi\{a_{il} = 0\};$$

(3.24)

$$\eta_{3l} = \sum_{i=1}^K \chi\{a_{il} = -1 \& b_{ij} \neq 0\};$$

$$\eta_{4l} = \sum_{i=1}^K \chi\{b_{ij} = 0 \& a_{il} = -1\}, l = \overline{1, N}.$$

Визначимо коефіцієнт актуальності EO_1 :

$$\lambda_l = \frac{\alpha}{N}(\eta_{1l} + \eta_{3l}) - \frac{\beta}{N}(\eta_{2l} + \eta_{4l}), l = \overline{1, N}.$$

(3.25)

Зауважимо, що

$$\lambda_l \in (-\beta, \alpha), l = \overline{1, N}.$$

Значення λ_{il} може бути і від'ємним, що вказує на неактуальність обладнання. Другий доданок у виразі (3.25) визначає функцію штрафу для EO_1 і опосередковано вказує на жертви (збитки) від того, що замість EO_1 в комплекті обладнання міг бути інший EO_1 , потрібний для ліквідації наслідків даної НС. Встановлення значення коефіцієнтів α і β можливе експертним шляхом із урахуванням даних табл. 1.

Позначимо

$$Q = \sum_{j=1}^N a_{ij} \chi\{a_{ij} \neq -1\},$$

$$W = \sum_{j=1}^N b_{ij} \chi\{b_{ij} \neq a_{ij} \& b_{ij} > 0\}.$$

Тоді коефіцієнт актуальності комплекту АРТ для i -ої НС визначається так:

$$\eta_i = \frac{Q}{W + Q + c_i}, \forall i \in \overline{1, K}.$$

Значення коефіцієнта актуальності обладнання належить відрізку $[0, 1]$. Випадок, коли $\eta_i = 0$, означає, що в результаті НС всі потенційні жертви стали реальними. Якщо ж $\eta_i = 1$, то всі потенційні жертви були врятовані. Загальний коефіцієнт актуальності j -го комплекту АРТ для всіх аварій розраховується як середнє значення коефіцієнта актуальності комплекту АРТ для усіх НС.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі розглянуто моделі та методи пошуку оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки на основі застосування методів нечіткої логіки та еволюційних технологій. Зокрема показано особливості препроцесінгу вихідних даних задачі, визначено особливості застосування послідовного аналізу варіантів з метою зменшення розмірності задачі. Визначено, що існує два підходи до знаходження оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки: у першому підході експерти визначають пріоритетність критеріїв на основі методу аналізу ієрархій Сааті та будують індивідуальні варіанти ранжування, закінчується процес формуванням колективного порядку на множині варіантів комплектів. У другому підході формується цільова функція, знаходження значення її максимуму дозволяє визначити і оптимальний варіант обладнання. У третьому розділі розглянуто моделі та методи пошуку оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки на основі застосування методів нечіткої логіки та еволюційних технологій. Зокрема показано особливості препроцесінгу вихідних даних задачі, визначено особливості застосування послідовного аналізу варіантів з метою зменшення розмірності задачі. Визначено, що існує два підходи до знаходження оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки: у першому підході експерти визначають пріоритетність критеріїв на основі методу аналізу ієрархій Сааті та будують індивідуальні варіанти ранжування, закінчується процес формуванням колективного порядку на множині варіантів комплектів. У другому підході формується цільова функція, знаходження значення її максимуму дозволяє визначити і оптимальний варіант обладнання.

Запропоновано еволюційні методи для визначення оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки на основі генетичного алгоритму та еволюційної стратегії. Оскільки методи є параметричним, то визначено основні аспекти формування потенційних розв'язків взагалі та, зокрема, на основі принципу протекціонізму.

Запропоновано визначати пріоритетність елементів обладнання певного класу з використанням методу аналізу ієрархій на основі встановлення пріоритетності критеріїв та процедур визначення компетентності експертів. Оскільки задача комплектування є багатокритеріальною, то до критеріїв визначення оптимального комплекту запропоновано включити критерій актуальності. Побудовано моделі показників актуальності обладнання, а також визначено коефіцієнт актуальності елемента обладнання та розроблено модель для визначення коефіцієнта актуальності комплекту аварійно-рятувального обладнання для певної надзвичайної ситуації. Запропоновано розраховувати загальний коефіцієнт актуальності комплекту обладнання для усіх надзвичайних ситуацій як усереднене значення коефіцієнта актуальності комплекту для кожної надзвичайної ситуації при умові їх рівнозначності, або як зважене значення в іншому випадку.

РОЗДІЛ 4

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ВЕРИФІКАЦІЯ І РОЗРОБКА СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ КОМПЛЕКТУВАННІ АВАРІЙНО-РЯТУВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Процеси прийняття рішень керівниками підрозділів Державної служби з надзвичайних ситуацій України є багатоетапними, ієрархічними, суб'єктивізованими. Вони здійснюються на основі інформації як кількісного, так і якісного характеру. Найчастіше відповідні рішення є надто персоніфікованими, зміщеними і вимагають коригування та уточнення. Особливо важливими є наслідки таких рішень, оскільки найменші помилки та прорахунки є причинами людських жертв та матеріальних збитків.

Об'єктивізація відповідних процесів може бути здійсненою шляхом застосування двох підходів: побудова моделей прийняття рішень виключно на основі реальних даних та застосування інформаційно-аналітичних систем чи систем підтримки прийняття рішень, що дозволить відсторонити від суб'єктивного впливу зацікавлених осіб. Важливо зауважити, що вони відбуваються ще і в умовах матеріального та фінансового дефіциту.

Типовим представником таких процесів є комплектування АРТ. Наголосимо, що обмеженість носія, його призначення та різноманітність сучасних елементів аварійно-рятувального обладнання [112, 113] є причинами необхідності об'єктивізації та автоматизації процесів підтримки прийняття рішень [129, 132]. Далі розглянемо аспекти побудови відповідних автоматизованих систем, можливі їх структури, елементну базу та принципи функціонування та застосування. У процесах створення таких систем важливо не забувати про їх життєвий цикл, передбачивши ефективні процедури на етапах наукових досліджень, проектування, розробки, функціонування та модернізації або ліквідації. Наявність протиріч між замовником та розробником, а також реалізації вказаних процесів в умовах різноманітного ресурсного та фінансового дефіциту, обов'язково приведуть до необхідності розв'язання прикладних оптимі-

заційних задач підвищеної складності, розробки відповідних методів та їх алгоритмізації.

4.1. Принципи інформаційно-аналітичної підтримки процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки

Відомо, що задача комплектування аварійно-рятувальної техніки є складною багатокритеріальною задачею. Головними критеріями, які використовуються при її розв'язанні, є функціональність, потужність, надійність, актуальність (значущість) та ціна. Важливу роль відіграють також габаритні розміри АРТ.

Процес розв'язання задачі її комплектування базується на основі використання інформаційної бази (ІБ). Оскільки постійно з'являються нові зразки АРТ та носіїв, на які вона встановлюється, то необхідно враховувати фактор динамічності ІБ. Крім того, розробка відповідних баз даних та знань, систем підтримки прийняття рішень в цілому повинна базуватись на таких принципах:

- системності, що передбачає впорядкування номенклатури АРТ за певним переліком типів та іншими критеріями;
- мобільності, в якому відображено можливість встановлення АТР на різні види носіїв;
- відкритості, що дозволить здійснювати корекцію ІБ у залежності від необхідності, а також додавати чи вилучати дані про певні типи АРТ;
- інформаційної єдності, що визначає єдиний формат представлення даних для різних варіантів техніки.

Реалізація вказаних принципів дозволить сформувати ІБ та запропонувати його структуру у вигляді кортежу таких елементів:

$$IA = \langle N, ID, A, B, C, S, R, P, Z, t \rangle, \quad (4.1)$$

де N – номер виробу, ID – його назва (ідентифікатор), A, B, C – габаритні розміри, S – тип аварійної ситуації, де використовується виріб (можливо, $S \in$

вектором, що пов'язано з багатофункціональністю окремих виробів), R – означає рівень функціональності виробу (очевидно, що $R = R(S)$), P – потужність виробу (можливо враховувати різні одиниці потужності), Z – ціна виробу, t – час формування запису про виріб. Останній параметр потрібен для відстеження тенденцій про ціну АРТ. Зауважимо, що записи, про один вид техніки та його різні ціни в різні моменти часу повинні залишатись в ІБ. Розробка принципів ведення ІБ, а також його структури є необхідною умовою розв'язання задачі комплектування АРТ. Спрощена структура та частина інформаційної бази наведена у табл. Б.2 додатку Б.

Крім інформаційної підтримки процесів прийняття рішень важливою є і аналітична складова. Важливо розуміти всю важливість поставленої задачі, яка за змістом своїм є оптимізаційною задачею із значною присутністю суб'єктивного фактору та залученням експертних висновків. Потрібно намагатись уникати суб'єктивізму у прийнятті рішень та використовувати об'єктивізовані дані статистичного характеру. Потрібно звичайно пам'ятати, що таке використання є аргументованим і адекватним при незмінності умов не лише їх аналізу, а і прогнозування на їх основі.

Потрібно досконало володіти методами інформаційного менеджменту, щоб мати можливість доступу до всього різноманіття даних та їх моделей, розрізняти та використовувати знання у вигляді семантичних мереж, фреймів, логічних та продукційних моделей [53], а у особливо суб'єктивізованих випадках вміти оперувати з цими моделями у нечіткому аспекті та розрізі.

При розробці систем підтримки прийняття рішень пропонуємо таку послідовність кроків:

Крок 1. З використанням факторного та кореляційно-регресійного аналізу [133] встановити найбільш значущі фактори, які якнайбільше впливають на результуючу характеристику (ендогенну характеристику, цільову функцію тощо).

Крок 2. З використанням сучасних методів чіткої [1, 9, 25, 27] та нечіткої кластеризації [22], можливо, ймовірнісної [7, 19], нейромережної [17] чи із

залученням пірамідальних мереж [65] та залученням експертів [62, 66] здійснити таксономію предметної області, виконавши її розбиття та об'єднавши в таксонах найбільш подібні елементи. Працюючи із подібними елементами ми уникаємо усереднення даних, що є критичним для нашої задачі, оскільки потрібно прагнути підкреслити функціонал саме кожної конкретної одиниці обладнання.

Крок 3. Використовуючи методи аналізу знань, групування, бінарних порівнянь, відновлення пропусків в даних, визначення «реперних» точок, де відбувається перехід кількості в якість, очистки даних здійснити приведення даних до виду, який дозволить провести їх всебічний аналіз та використати для розв'язання задач [18, 49, 50, 70]. При цьому використати всю потужність нечіткого представлення даних [11, 55, 69, 114] та технології їх обробки, можливість оптимізації поліекстремальних, негладких функцій, заданих таблично, аналітично чи алгоритмічно із налаштуванням параметрів, що дозволить розв'язувати задачі з потрібною точністю за потрібний час [37, 54, 63]. Важливо пам'ятати і про нейромережі як третього представника Soft Computing, оскільки вони можуть використовуватись для розв'язання всіх задач, які на даний час розв'язуються іншими методами [117, 134].

Крок 4. На четвертому кроці потрібно безпосередньо проектувати та програмувати логіку інтерфейсу, логіку даних та логіку доступу до бази даних [84, 108]. Тут інтегруються знання теорії алгоритмів, методів та моделей інтелектуалізації систем підтримки прийняття рішень, теорії програмування та імпортування і експортування даних тощо. Релевантним задачі, яка розглядається в дисертації, є приведення багатокритеріальної задачі оптимізації до однокритеріальної та забезпечення мінімальну втрату інформативності даних, яка з'являється внаслідок звуження області дослідження. У деяких задачах також необхідно знаходити певні значення параметрів, що стосуються комплексів обладнання, виходячи із значень параметрів для конкретних елементів обладнання. Кваліфікація дослідника полягає у правильному виборі потрібних методів у відповідності до ситуації, яка має місце. Адже, відомо, що методи

теорії прийняття рішень можуть приводити до різних результатів при розв'язанні однієї і тієї ж задачі. Причиною тут і є особливості зовнішнього середовища, можливість повторення дослідів, їх унікальність, наявність ймовірнісних характеристик тощо.

4.2. Розробка структури та визначення елементного базису системи підтримки прийняття рішень

Враховуючи вищевикладену інформацію, пропонуємо елементну базу та структуру системи підтримки прийняття рішень. Складовими частинами такої системи будуть:

- база даних обладнання (IB_EQUIT) (формується на основі даних та каталогів підприємств-виробників),
- базу даних його номінальних характеристик (IB_NOM): потужність, ціна та габарити (формується на основі об'єктивних даних),
- базу даних аварій, катастроф, пожеж (IB_EVI) тощо (формується на основі карток про пожежі та надзвичайні ситуації),
- база даних, в якій знаходяться результати опитування експертів про функціональність та надійність обладнання (IB_FUNCRELI) (формується на основі об'єктивних розрахунків та експертних висновків),
- обчислювальний модуль, в якому передбачена процедура для обчислення актуальності елементів аварійно-рятувального обладнання (CM_TOP),
- перший модуль для пошуку оптимального комплексу обладнання (CM_FUZZY). Цей модуль реалізує процедуру колективного упорядкування індивідуальних ранжувань різних комплектів обладнання. Як правило застосовується у випадку невеликої потужності наявних елементів обладнання у різних класах. В основі функціонування лежить апарат нечіткої логіки (FL) та метод аналізу ієрархій (HIP),

- другий модуль має у своєму складі два підмодулі, у першому з них шукаємо оптимум цільової функції з використанням елементів генетичного алгоритму (OF_GA), у другому – з використанням елементів (OF_ES).

Крім основних обчислювальних складових СППР містить також модулі:

- введення-виведення інформації (IN_OUT),
- імпорту даних з документів у різних форматах та підготовки звітів (IMP_REP),
- виконання додаткових та допоміжних задач (ADD_TASK).

Системою також передбачається розрахунок цільової функції (OF_E) для варіантів комплектування, заданих експертами, та маскуванню непотрібних та директивно наявних елементів (EL_MASK).

Структурна схема СППР наведена на рис. 4.1.

При формуванні баз даних комплектуючих елементів аварійно-рятувального обладнання здійснюється на основі класифікації за принципом дії (рис. 4.2) та за призначенням (рис. 4.3). Приклад бази даних наведено у табл. А.1 додатку А.

4.3. Особливості практичної реалізації еволюційного методу комплектування аварійно-рятувальної техніки

Нехай необхідно вибрати один з шести варіантів комплектування АРТ, виходячи з міркувань шести експертів. На першому етапі здійснюємо попарне порівняння критеріальних функцій. Отримаємо такі матриці :

$$G_1 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 7 \\ 0,14 & 1 & 1 & 5 \\ 0,2 & 1 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,2 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 0,2 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 0,33 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,14 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_3 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 5 \\ 0,11 & 1 & 5 & 9 \\ 0,11 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,2 & 0,1 & 0,1 & 1 \end{pmatrix};$$

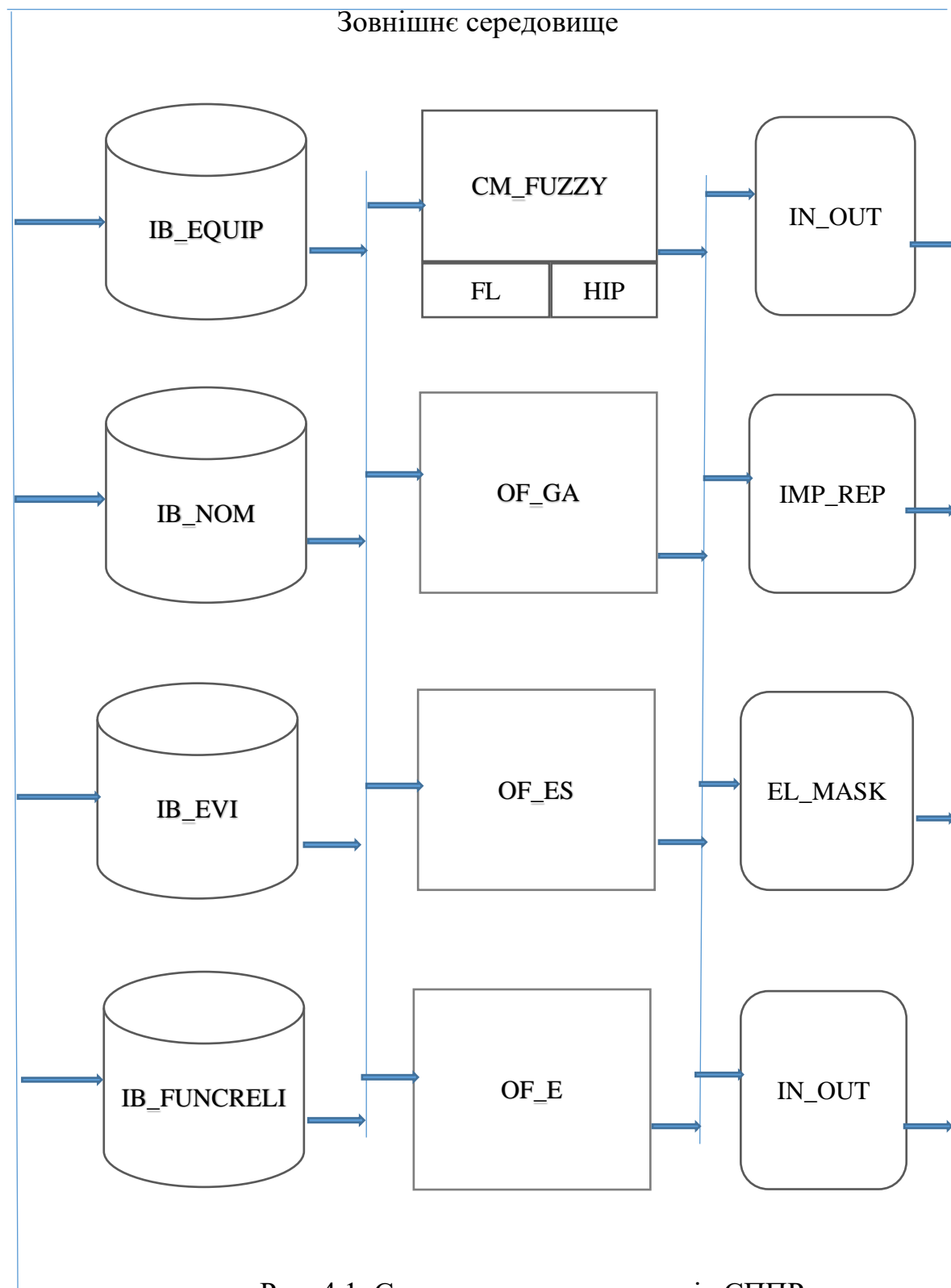


Рис. 4.1. Структурна схема модулів СПДР

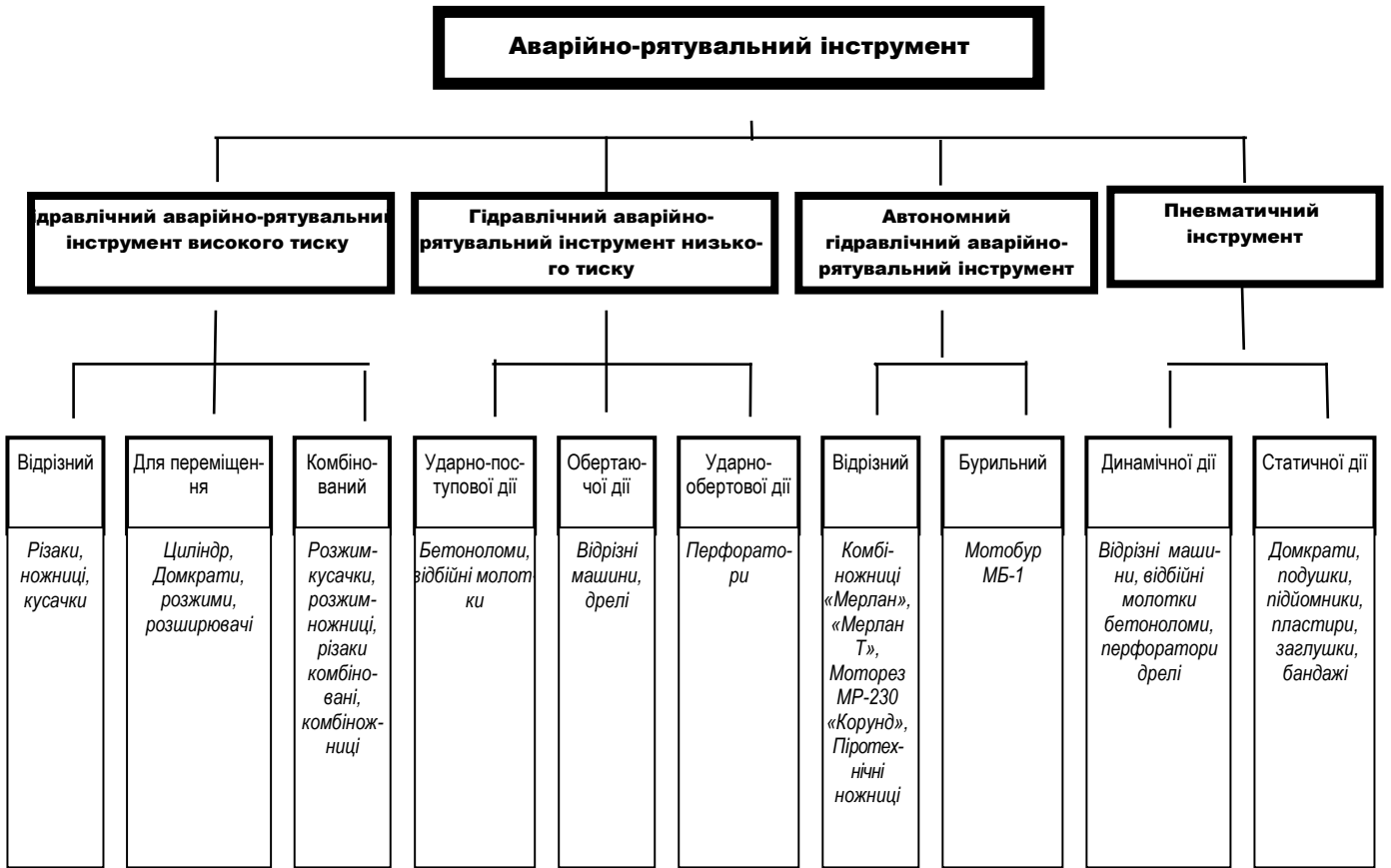


Рис. 4.2. Класифікація аварійно-рятувального інструмента за принципом дії

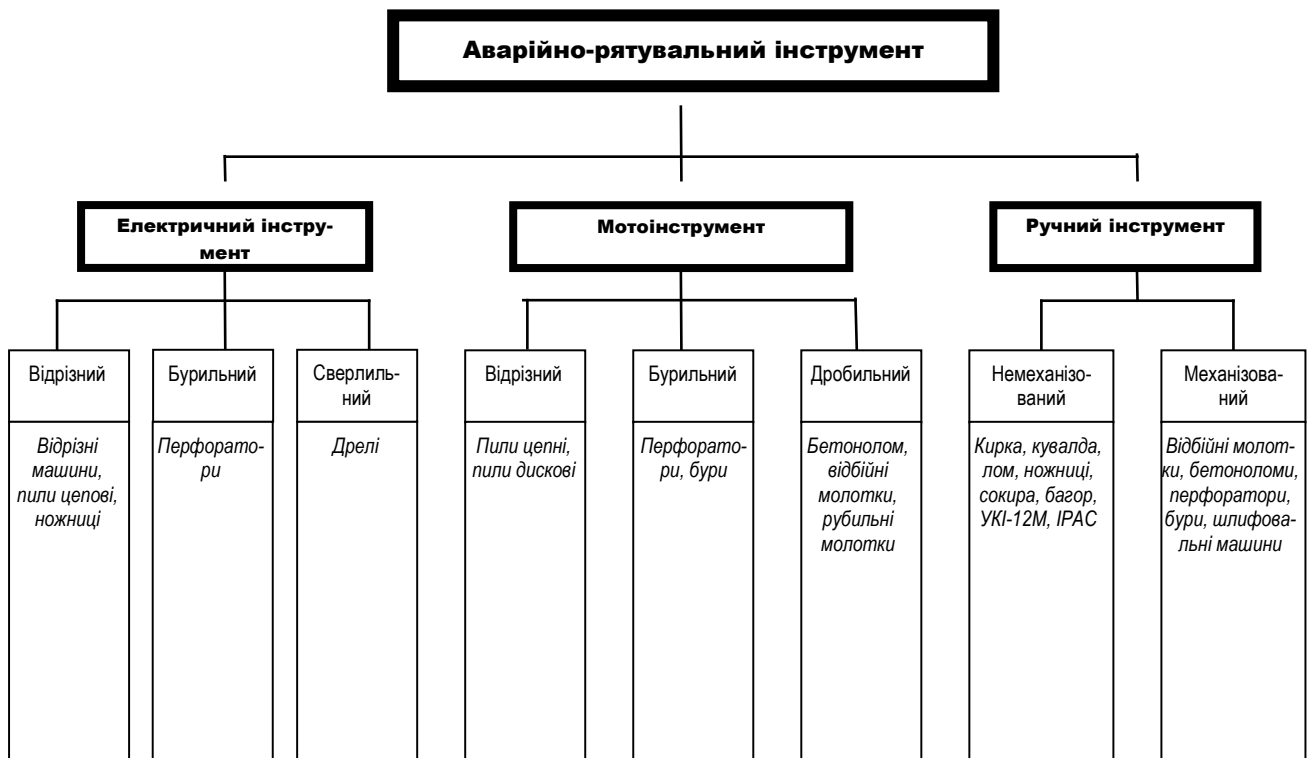


Рис. 4.3. Класифікація аварійно-рятувального інструменту за призначенням

$$G_1 = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 5 & 7 \\ 0,14 & 1 & 1 & 5 \\ 0,2 & 1 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,2 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_2 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 1 & 7 \\ 0,2 & 1 & 3 & 7 \\ 1 & 0,33 & 1 & 7 \\ 0,14 & 0,14 & 0,14 & 1 \end{pmatrix}; G_3 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 9 & 5 \\ 0,11 & 1 & 5 & 9 \\ 0,11 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,2 & 0,1 & 0,1 & 1 \end{pmatrix};$$

$$G_4 = \begin{pmatrix} 1 & 9 & 5 & 7 \\ 0,1 & 1 & 5 & 7 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_5 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1 & 5 \\ 0,3 & 1 & 1 & 1 \\ 0,2 & 0,2 & 1 & 9 \\ 0,14 & 0,14 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}; G_6 = \begin{pmatrix} 1 & 5 & 7 & 1 \\ 0,2 & 1 & 9 & 5 \\ 0,14 & 0,1 & 1 & 9 \\ 1 & 0,2 & 0,1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Компетентності експертів визначені особою, яка приймає рішення, і вони рівні:

$$\gamma_1 = 0,34; \gamma_2 = 0,24; \gamma_3 = 0,2; \gamma_4 = 0,14; \gamma_5 = 0,05; \gamma_6 = 0,03.$$

Максимальні власні числа матриць $G_i, i = \overline{1,6}$ такі:

$$\lambda_1 = 4,35; \lambda_2 = 4,77; \lambda_3 = 5,45; \lambda_4 = 5,13; \lambda_5 = 4,26; \lambda_6 = 6,99.$$

Таким чином, індекси узгодженості рівні:

$$\delta_1 = 0,35; \delta_2 = 0,77; \delta_3 = 1,45; \delta_4 = 1,13; \delta_5 = 0,26; \delta_6 = 2,99.$$

Найкращим чином узгоджені висновки першого і п'ятого експертів, висновки шостого експерта необхідно коригувати.

Додаючи матриці $G_i, i = \overline{1,6}$ за описаною вище процедурою, отримаємо матрицю

$$G = \begin{pmatrix} 1 & 6,94 & 4,7 & 6,32 \\ 0,14 & 1 & 3,08 & 6,36 \\ 0,21 & 0,32 & 1 & 7,64 \\ 0,15 & 0,15 & 0,13 & 1 \end{pmatrix}.$$

Використовуючи (3.11), розрахуємо пріоритети критеріальних функцій:

$$p_1 = 0,61; p_2 = 0,21; p_3 = 0,14; p_4 = 0,04.$$

Обчислимо значення матриць $Q_i, i = \overline{1,4}$:

$$Q_1 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 0,9 & 0,33 & 0,7 \\ 0,33 & 1 & 0,67 & 0,3 & 0,11 & 0,23 \\ 0,5 & 1,5 & 1 & 0,45 & 0,17 & 0,35 \\ 1,11 & 3,33 & 2,22 & 1 & 0,37 & 0,78 \\ 3 & 9 & 6 & 2,7 & 1 & 2,1 \\ 1,43 & 4,29 & 2,86 & 1,29 & 0,48 & 1 \end{pmatrix}, Q_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 4 & 3 & 0,7 & 0,5 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \\ 0,25 & 0,13 & 1 & 0,75 & 0,18 & 0,13 \\ 0,33 & 0,17 & 1,33 & 1 & 0,23 & 0,17 \\ 1,43 & 0,71 & 5,71 & 4,29 & 1 & 0,71 \\ 2 & 1 & 8 & 6 & 1,4 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Q_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0,4 & 0,5 & 2 & 0,8 & 3 \\ 2,5 & 1 & 1,25 & 5 & 2 & 7,5 \\ 2 & 0,8 & 1 & 4 & 1,6 & 6 \\ 0,5 & 0,2 & 0,25 & 1 & 0,4 & 1,5 \\ 1,25 & 0,5 & 0,63 & 2,5 & 1 & 3,75 \\ 0,33 & 0,13 & 0,17 & 0,67 & 0,27 & 1 \end{pmatrix}, Q_4 = \begin{pmatrix} 1 & 6 & 4 & 0,9 & 4 & 0,8 \\ 0,17 & 1 & 0,67 & 0,15 & 0,67 & 0,13 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,11 & 6,67 & 4,44 & 1 & 4,44 & 0,89 \\ 0,25 & 1,5 & 1 & 0,23 & 1 & 0,2 \\ 1,25 & 7,5 & 5 & 1,13 & 5 & 1 \end{pmatrix}.$$

Далі знаходимо ступеня належності кожного з варіантів комплектування відповідним нечітким множинам:

$$\begin{aligned} \hat{F}_1 &= \left\{ \frac{0,12}{K_1}; \frac{0,38}{K_2}; \frac{0,25}{K_3}; \frac{0,11}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,09}{K_6} \right\}, \\ \hat{F}_2 &= \left\{ \frac{0,10}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,41}{K_3}; \frac{0,31}{K_4}; \frac{0,07}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}, \\ \hat{F}_3 &= \left\{ \frac{0,13}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,10}{K_5}; \frac{0,39}{K_6} \right\}, \\ \hat{F}_4 &= \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,36}{K_2}; \frac{0,24}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,24}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}. \end{aligned}$$

Нечіткий розв'язок знаходимо як перетин критеріїв $\hat{F}_i, i = \overline{1,4}$:

$$\hat{F} = \left\{ \frac{0,05}{K_1}; \frac{0,05}{K_2}; \frac{0,06}{K_3}; \frac{0,05}{K_4}; \frac{0,04}{K_5}; \frac{0,05}{K_6} \right\}.$$

Враховуючи значущість критеріальних функцій, уточнимо отримані результати:

$$\hat{F}_1 = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,55}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\},$$

$$\hat{F}_2 = \left\{ \frac{0,62}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,83}{K_3}; \frac{0,78}{K_4}; \frac{0,58}{K_5}; \frac{0,53}{K_6} \right\},$$

$$\hat{F}_3 = \left\{ \frac{0,75}{K_1}; \frac{0,66}{K_2}; \frac{0,68}{K_3}; \frac{0,82}{K_4}; \frac{0,72}{K_5}; \frac{0,87}{K_6} \right\},$$

$$\hat{F}_4 = \left\{ \frac{0,89}{K_1}; \frac{0,95}{K_2}; \frac{0,94}{K_3}; \frac{0,88}{K_4}; \frac{0,94}{K_5}; \frac{0,88}{K_6} \right\}.$$

Тоді, виходячи з (3.11), отримаємо нечіткий розв'язок

$$\hat{F} = \left\{ \frac{0,28}{K_1}; \frac{0,54}{K_2}; \frac{0,43}{K_3}; \frac{0,26}{K_4}; \frac{0,14}{K_5}; \frac{0,22}{K_6} \right\}.$$

Розв'язком задачі буде варіант комплектування АРТ K_2 , який відповідає максимальному значенню функції належності.

4.4. Визначення коефіцієнта актуальності аварійно-рятувального обладнання

Розрахуємо коефіцієнт актуальності аварійно-рятувального обладнання. Вихідні дані для експериментальних розрахунків наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1. Вихідні дані задачі визначення актуальності обладнання

	Врятовано, осіб					Могли б врятувати, осіб					Z
	e1	e2	e3	e4	e5	e1	e2	e3	e4	e5	
1	0	2	-1	-1	1	0	2	0	1	1	2
2	5	0	0	-1	1	5	0	0	2	1	1
3	3	0	-1	2	1	3	0	1	2	1	1
4	-1	-1	0	1	2	2	3	0	1	2	1
5	1	-1	-1	0	1	1	1	3	0	1	3
S	9	2	0	3	6	11	6	4	6	6	8

Розрахуємо показники η_{il} :

$$\begin{aligned} \eta_{11} &= 3, \eta_{12} = 1, \eta_{13} = 0, \eta_{14} = 2, \eta_{15} = 5; \\ \eta_{21} &= 1, \eta_{22} = 2, \eta_{23} = 2, \eta_{24} = 1, \eta_{25} = 0; \\ \eta_{31} &= 1, \eta_{32} = 2, \eta_{33} = 2, \eta_{34} = 2, \eta_{35} = 0; \end{aligned}$$

$$\eta_{41} = 0, \eta_{42} = 0, \eta_{43} = 1, \eta_{44} = 0, \eta_{45} = 0.$$

Визначимо коефіцієнти актуальності елементів обладнання, припускаючи, що коефіцієнти $\alpha = \beta = 0,5$. Одержимо:

$$\lambda_1 = 0,15; \lambda_2 = 0,1; \lambda_3 = -0,1; \lambda_4 = 0,1; \lambda_5 = 0,5$$

Одразу ж можна зробити висновок про найбільшу актуальність (максимально можливу) п'ятого елемента обладнання та низьку актуальність третього елемента. За актуальністю комплекти обладнання можна впорядкувати таким чином:

$$e3 < e2 = e4 < t1 < t5.$$

По відношенню до кожної НС розрахуємо коефіцієнти актуальності наявного комплекту АРО:

$$\eta_1 = 0,5, \eta_2 = 0,33, \eta_3 = 0,75, \eta_4 = 0,33, \eta_5 = 0,22.$$

Таким чином, аварійно-рятувальний підрозділ при третій НС був найкраще забезпечений аварійно-рятувальною технікою, найгірше – при п'ятій НС.

4.5. Експериментальна верифікація технології визначення оптимального комплекту аварійно-рятувального обладнання

Виконаємо експериментальну верифікацію одержаних результатів на основі запропонованої структури та елементного базису системи підтримки прийняття рішень. Проведемо експерименти із визначення оптимальних комплектів аварійно-рятувального обладнання з використанням мови програмування Python, комп'ютера Intel Core 7 3400, 8Gb. При визначенні оптимального комплекту аварійно-рятувального обладнання використовуються дані стандартних карток обліку пожежі чи карток обліку надзвичайної ситуації та база даних, фрагмент якої наведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2. Дані про аварійно-рятувальне обладнання

№	Назва	Id	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	A	B	C
1	Різак_K	CU5030	0,6	549	0,8	120	0,6	45	20	40
13	Комбіінструмент	GT5111	0,6	206	0,7	266	0,44	50	42	52
15	Домкрат_S	RA4311	0,7	100	0,9	312	0,65	31	7	20
19	Насосна станція	SPU161	0,6	940	0,9	1200	0,7	80	70	90

Проведено ряд експериментів для визначення оптимального комплекту АРТ. Результати знаходяться у табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Значення цільової функції

Метод	K1 (300 ітер.)	Відхилення, %	K2 ($\varepsilon = 0,01$)	Відхилення, %
ОПР	3,67	-	3,67	-
M1	3,91	6,5	3,91	6,5
M2	3,98	8,4	4,01	9,3
M3	4,03	9,8	4,07	10,9

У першому експерименті особа, що приймає рішення (ОПР), визначала найкращий, на її погляд, комплект. Для нього розраховувалось значення цільової функції (ЦФ). За розробленим методом (M1) із залученням шести експертів формувалось колективне ранжування комплектів обладнання і для найкращого комплекту значення ЦФ виявилось на 6,5% більшим. У другому експерименті використовувались два розроблених методи (M2 і M3) та два критерії зупинки алгоритмів: K1 – по кількості виконаних ітерацій, K2 – за близькістю значень цільової функції на сусідніх ітераціях. Значення ЦФ було кращим у порівнянні із вибором ОПР від 8,4% до 11%.

Зауважимо, що метод M1 раціонально застосовувати, коли комплекти, які потрібно оцінити, вже є сформованими і їх кількість є порівняно малою.

Методи М2 і М3 раціонально застосовувати, коли комплекти не є сформованими, а кількість можливих варіантів є значною.

Зробимо ще деякі зауваження до проведених експериментів. Проведені експерименти мали дещо обмежений характер. Не були проведені дослідження часу тривалості реалізації того чи іншого методу у залежності від потужностей множин класів аварійно-рятувального обладнання. Причиною цього є достатньо тривалий час реалізації одного із еволюційних методів. Оскільки такі методи теоретично мають ймовірнісну збіжність, кількість запусків алгоритму мала б бути надто значною, або час роботи наявної комп'ютерної техніки для обґрунтованих висновків мав би бути в околі 1000 годин машинного часу.

Для визначення оптимального комплекту обладнання особі, що приймає рішення, було надано на вибір 6 комплектів, які містили по одному елементу з множини: Різак_К, Різак_Т, Різак_У, Комбінструмент, Домкрат_S і Насосна станція. Потужність першого класу – 4, другого – 4, третього – 4, четвертого – 6, п'ятого – 7, шостого – 18. У загальному можлива кількість варіантів для методу повного перебору – 48384. У реальних задачах кількість можливих варіантів перевищує мільярди. Розрахувати значення цільової функції для такої кількості варіантів з урахуванням того, що потрібно здійснювати розрахунки багатьох допоміжних значень, – майже нерозв'язувана сьогодні задача. У задачі, де експерти роблять індивідуальні висновки щодо комплектів обладнання, потрібно також враховувати компетентність експертів (для розв'язання було проведено опитування викладачів Черкаського інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України) та формувати колективний висновок з урахуванням компетентностей експертів.

Як для реалізації методу М1 та методів М2 і М3, потрібно використовувати цільову функцію. У цій функції невідомі значення коефіцієнтів, які вказують на пріоритетність того чи іншого класу обладнання. Від цих значень

залежатиме значення цільової функції особливо у випадку використання штрафної частини у цільовій функції.

Здійснити цей крок можна, використовуючи метод аналізу ієрархій Сааті, опитуючи експертів та будуючи матриці попарних порівнянь. Шість визначених класів одержали такі значення пріоритетів: 0,05, 0,05, 0,1, 0,35, 0,05, 0,4. Ці значення і були використані для пошуку оптимальних комплектів. Зауважимо, що для еволюційних методів результати одержувались при різних запусках з певною волатильністю.

Висновки до розділу 4

Четвертий розділ присвячено практичній реалізації одержаних теоретичних результатів, їх порівнянню, перевірці адекватності моделей та визначенню ефективності запропонованих методів. Запропоновано принципи побудови систем підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. Розроблено структуру та вказано на елементний базис таких систем, зокрема визначено, які бази даних і з яким вмістом мають використовуватись для підтримки прийняття рішень. Показано, яким чином сформувати обчислювальні модулі та у якому порядку їх раціонально використовувати. Наведені допоміжні процедури, модулі, які можна віднести до логіки інтерфейсу та модулі логіки доступу до баз даних.

Проведене чисельне моделювання на основі розробленого алгоритму дозволило зробити висновки про актуальність та, як наслідок, пріоритетність елементів обладнання, а також оцінити ступінь забезпеченості аварійно-рятувального підрозділу аварійно-рятувальним обладнанням при різних надзвичайних ситуаціях. Наступним кроком виконано моделювання та визначено оптимальний комплект обладнання з використанням висновків групи експертів на основі застосування технологій нечіткої логіки та методу аналізу ієрархій Сааті. Значення цільової функції що відповідало цьому варіанту комплектування було на 6,5% більшим ніж для комплекту, визначеного особою, що

приймає рішення. Зауважено, що використання такого методу є переважним у випадку сформованих комплектів обладнання у порівняно невеликій кількості, оскільки потрібна значна кількість операцій, пов'язаних з експертним опитуванням та розрахунками. Якщо ж комплекти не сформовані, а класи обладнання містять порівняно велику кількість елементів, то використання попереднього методу є неможливим і необхідно скористатись методами визначення оптимального комплекту на основі генетичних алгоритмів та еволюційних стратегій. Такі методи довели свою ефективність на численних прикладах моделювання. Зауважимо, що одержані розв'язки можна вважати швидше оптимізованими, а не оптимальними і це визначається за порівнянням значень цільової функції. Збіжність до глобального оптимуму для цих методів є ймовірнісною.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано важливе наукове завдання розробки моделей, методів та інструментальних засобів підтримки прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки на основі еволюційної парадигми, зокрема:

1. Проведено аналіз принципів, моделей, методів та інструментальних засобів підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. Встановлено, що відповідні рішення на сьогодні реалізуються на основі досвіду, інтуїції та директивних документів відповідальних осіб. Вони є зміщеними, неефективними і у багатьох випадках не відповідають внутрішнім потребам аварійно-рятувальних підрозділів та зовнішнього середовища. Комплектування аварійно-рятувальної техніки частково є подібним розв'язанню задачі про упаковку, але має багатокритеріальний суб'єктивований характер.
2. Виконано формалізовану постановку задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки з урахуванням двох аспектів: внутрісистемного та впливу зовнішнього середовища. Розроблено інформаційно-аналітичні моделі її життєвого циклу, в основі яких лежать відображення рівнів системної моделі: цілей, задач, методів та засобів;
3. Побудовано комплекс моделей, які супроводжують одержаний розв'язок задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки по етапах його життєвого циклу, та складаються із моделей будови, функціонування і розвитку;
4. Удосконалено метод розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки при нечітких експертних перевагах, перевагою якого є відсутність необхідності розв'язувати оптимізаційні задачі у класичній постановці та об'єктивізація результату через врахування висновків множини експертів та побудову колективного ранжування;

5. Розроблено та удосконалено еволюційні методи для визначення оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки шляхом оптимізації цільової функції, в основі яких лежить використання елементів генетичного алгоритму та еволюційних стратегій.
6. Розроблено метод для визначення значущості (актуальності) елементів аварійно-рятувального обладнання, який дозволяє врахувати вплив зовнішнього середовища на процес комплектування та базується на врахуванні кількості надзвичайних ситуацій, де даний елемент використовувався чи був відсутній, а також на їх наслідках.
7. Побудована структура системи підтримки прийняття рішень та проведено верифікацію отриманих результатів. Встановлено, що їх використання дозволяє покращити значення цільової функції на 10-15% у порівнянні із висновками осіб, що приймають рішення, на основі досвіду та експертного аналізу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Achtert E. On exploring complex relationships of correlation clusters / E. Achtert, C. Bohm, H.P. Kriegel, P. Kröger, A. Zimek // In proc. 19th international conference on Scientific and Statistical Database Management. – 2007. – P.7.
2. Back T. Evolutionary computation. / T. Back, D.B. Fogel, Z. Michalewicz. – IOP Publishing, Bristol and Philadelphia, 2000. – Vol. 1: Basic algorithms and operators. – 339 p.
3. Bansod N.A. Soft Computing – A Fuzzy Logic Approach. In Bharati Vidyapeeth College of Engineering (ed.) / N.A. Bansod, M. Kulkarni, S.H. Patil // Soft Computing, Allied Publishers. – 2005. – P. 73.
4. Blum C. Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison / C. Blum, A. Roli // ACM Computing Surveys.– 2003. – Vol. 35, No. 3. – P. 268-308.
5. Dakin R.J. A tree-search algorithm for mixed integer programming problems / R.J. Dakin // The Computer Journal. – 1965. – Vol. 8. – P. 250-255.
6. Dorigo M. Ant System: Optimization by a colony of cooperating agents / M. Dorigo, V. Maniezzo, A. Colorni // IEEE Trans. Syst., Man. and Cybern. – 1996. – Vol. 26, № 2. – P. 29-41.
7. Echevoyen C. On the Taxonomy of Optimization Problems Under Estimation of Distribution Algorithms / C. Echevoyen, A. Mendiburu, R. Santana, J.A. Lozano // Evolutionary Computation. – 2012. – Vol. 21 (3). – Pp. 471–495.
8. Eddy S.R. What is dynamic programming? / S.R. Eddy // – Nature Biotechnology. – 2004. – Vol. 22. – P. 909-910.
9. Everitt B. Cluster analysis / B. Everitt.– Chichester, West Sussex, U.K: Wiley, 2011.
10. Fuzzy Logic: A Framework for the New Millennium / V. Dimitrov, V. Korotkich ed. // Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002. – 395 p.

11. Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing / J. C. Bezdek, J. Keller, R. Krisnapuram [et al]. – Springer Science+Business Media, Inc. – 2005. – 776 p.
12. Gallo G. Quadratic knapsack problems / G. Gallo, P.L.Hammer, B. Simeone // *Mathematical Programming Studies*. – 2009. – Vol. 12. – P. 132-149.
13. Gerla G. Comments on some theories of fuzzy computation / G. Gerla // *International Journal of General Systems*. – 2016. – Vol. 45 (4). – Pp. 372–392.
14. Harti R. E. A global convergence proof for class of genetic algorithms / R. E. Harti. – Wien: Technische Universitaet. – 1990. – 136 p.
15. Hnatiienko H. Choice manipulation in multicriteria optimization problems / H. Hnatiienko // In Selected papers of the XIX international scientific and practical conference "Information Technologies and Security". – 2019. – Pp. 234–245.
16. Holland J.H. Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence / J.H. Holland. – London: Bradford book edition, 1994. – 211 p.
17. Kohonen T. Self-Organizing Maps / T. Kohonen. – Berlin–New York: Springer-Verlag, 2001.
18. Kosiur D. Understanding policy-based networking, 2nd. ed. / D. Kosiur. – Wiley, New York, NY, 2001.
19. Kriegel H.-P. Density-based Clustering / H.-P. Kriegel, P. Kröger, J. Sander, A. Zimek // *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*. – 2011. – Vol. 1 (3). – P. 231–240.
20. Kryshstal V. System analysis of formation rescuing equipment sets / V. Kryshstal, V. Snytyuk // *International Journal "Information Technologies and Knowledge"*. – 2016. – Vol. 10, Number 1. – P. 91-99.
21. Levitin G. Computational Intelligence in Reliability Engineering. Studies in AI / G. Levitin. – Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. – 40. – 427 p.

22. Liu H.-c. Fuzzy possibility c-mean clustering algorithms based on complete mahalanobis distances / H.-c Liu, J.-m Yih, D.-b Wu, and S.-w Liu // In 2008 int. conf. on Wavelet Analysis and Pattern Recognition, IEEE.– 2008/ – Pp. 50–55.
23. Lodi A. Recent advances on two-dimensional bin packing problems / A. Lodi, S. Martello, D. Vigo // Discrete Appl. Math. – 2002. – Vol. 123. – P. 379-396.
24. Martello S. Knapsack problems / S. Martello, P. Toth. – Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1990. – P. 221-245.
25. Meilă M. Comparing clusterings by the variation of information. Learning theory and kernel machines. Lecture Notes in Computer Science / M. Meilă. – 2003. – Vol. 2777. – Pp. 173-187.
26. Michalewicz Z. Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs / Z. Michalewicz. – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New-York, 1996. – 387 p.
27. Mirkes E.M. K-means and K-medoids applet / E.M. Mirkes. – University of Leicester, 2011.
28. Pisinger D. Algorithms for Knapsack Problems / D. Pisinger. –Copenhagen, Denmark: University of Copenhagen. – 1995. – 199 p.
29. Rechenberg I. Evolutionsstrategie “94” / I. Rechenberg. – Stuttgart-Bad Gannstatt: Frommann Halzboog. – 1994. – 434 p.
30. Ribeiro C. Essays and surveys in metaheuristics / C. Ribeiro, P. Hansen (eds.). – Boston: Kluwer Academic Publishers, 2001. – 651 p.
31. Saaty T. Group Decision Making: Drawing out and Reconciling Differences / T. Saaty, K. Peniwati. – Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications. – 2008. – 385 p.
32. Sheikh R.~H. Genetic algorithm based clustering: A survey / R.~H Sheikh, M~Raghuwanshi, and A.~N Jaiswal // In proc. of 2008 first int. conf. on Emerging Trends in Engineering and Technology.– 2008.– Vol. 2(6). – Pp.

- 314–319.
33. Silvano M. Knapsack problems / M. Silvano, P. Toth. – Chichester, UK: John Wiley and Sons, 1990. – 221 p.
 34. Simon D. Evolutionary optimization algorithms / D. Simon. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013.
 35. Snytyuk V. Evolutionary technique of shorter route determination of fire brigade following to fire place with the optimized space of search / V. Snytyuk, O. Dghulay // Information Technologies and Knowledge. – 2007. – Vol. 1. – № 4. – P. 325-332.
 36. Snytyuk V. Problem and mathematical models for rescue technics acquisition / V. Snytyuk, P. Kucher // International Journal “Information Theories and Applications”. – 2014. – Vol. 21, Number 1. – P. 60-64.
 37. Spears W.M. The Role of Mutation and Recombination in Evolutionary Algorithms. PhD Thesis / W.M. Spears. – George Mason University: Fairfax, Virginia. – 1998. – 240 p.
 38. Sridharan R. The capacitated plant location problem / R. Sridharan // European J. Oper. Res. – 1995. – V. 87. – P. 203-213.
 39. Takagi T. Fuzzy identification of systems and its application to modeling and control / T. Takagi, M. Sugeno // IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. – 1985. – Vol. 15. – P. 116–132.
 40. Thomas H.C. et al. Introduction to Algorithms / H.C. Thomas et al. – MIT Press, 2001. – 1292 p.
 41. Ting C.-K. On the Mean Convergence Time of Multi-parent Genetic Algorithms Without Selection / C.-K. Ting // Advances in Artificial Life. – 2005. – Pp. 403–412.
 42. Tsyganok V.V. Simulation of expert judgements for testing the methods of information processing in decision-making support systems/ V.V. Tsyganok, S.V. Kadenko, O.V. Andriichuk // Journal of Automation and Information Sciences. – 2011. – Vol. 43(12). – Pp. 21-32.

43. Valiant L. Probably Approximately Correct: Nature's Algorithms for Learning and Prospering in a Complex World / L. Valiant. – New York: Basic Books, 2013.
44. Weber R.O. Wildland Fire Spread Models. In “Forest Fires”, ed. E.A. Johnson and K. Miyanishi / R.O. Weber. – Academic Press, Feb, 2001. – P. 151-169.
45. Whitley D. Complexity theory and the no free lunch theorem / D. Whitley, J.P. Watson. E.K. Burke, G. Kendall (eds.) // Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques. New York: Springer, 2005. – P. 1-24.
46. Wolpert D.H. No Free Lunch Theorems for Optimization / D.H. Wolpert, W.G. Macready // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1997. – Vol. 1, 67.
47. Zadeh L.A. et al. Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, Fuzzy Systems / L.A. Zadeh et al. – World Scientific Press, 1996.
48. Zadeh L.A. Fuzzy logic, neural network and soft computing / L.A. Zadeh // Communications of the ACM. – 1994. – Vol. 37, № 3. – P. 77–84.
49. Zagoruiko N.G. Applied methods for data analysis and knowledge / N.G. Zagoruiko. – Novosibirsk, IM SB RAS, 1999.
50. Zaki M.J. Data mining and analysis: fundamental concepts and algorithms / M.J. Zaki, W. Meira. – Cambridge University Press, New York, 2014.
51. Zhang J. Clustering-Based Adaptive Crossover and Mutation Probabilities for Genetic Algorithms / J. Zhang, H. Chung, W.L. Lo // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 2007. – Vol. 11 (3). – Pp. 326–335.
52. Батищев Д.И. Оптимизация многоэкстремальных функций с помощью генетических алгоритмов / Д.И. Батищев, С.А. Исаев // Мужвуз. сборник. – ВГТУ: Воронеж, 1997. – С. 4-17.
53. Башмаков А.И. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. пособие. / А.И. Башмаков, И.А. Башмаков. – М.: Изд-во МГТУ

- им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с.
54. Бидюк П. И. Параллельные генетические алгоритмы / П.И. Бидюк, В.И. Литвиненко, А.А. Токарь // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2002. – № 4. – С. 7-16.
 55. Бойко Л.А. Системи з нечіткою логікою в задачах експертного оцінювання / Л.А. Бойко, Ю.П. Зайченко // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2007. – № 2. – С. 33-46.
 56. Букатова И.Л. Эвоинформатика: Теория и практика эволюционного моделирования / И.Л. Букатова, Ю.И. Михасев, А.М. Шаров. – М.: Наука, 1991. – 205 с.
 57. Витковски Т. Многоэтапные процессы принятия решений в управлении предприятием / Т. Витковски // Проблемы управления и информатики. – 1998. – № 3. – С. 124-138.
 58. Волкович В.Л. Модели и методы оптимизации надежности сложных систем // В.Л. Волкович, А.Ф. Волошин и др. – К.: Наук. думка, 1993. – 312 с.
 59. Волошин О.Ф. Послідовний аналіз варіантів: Технології та застосування: Монографія / О.Ф. Волошин, Г.М. Гнатієнко, В.І. Кудін // К.: Стилос, 2013. – 304 с.
 60. Волошин О.Ф. Теория принятия решений / О.Ф. Волошин, С.О. Мащенко. – К.: Киевский университет, 2006. – 304 с.
 61. Воронин А. Синергетические методы комплексирования в задачах принятия решений / А. Воронин, Ю. Михеев // Proc. XII-th Int. Conf. "KDS-2006". – Varna, 2006. – P. 180-185.
 62. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2001. – 752 с.
 63. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности. / Вороновский Г.К., Махотило К.В., Петрашев С.Н., Сергеев С.Н. – Харьков: Основа, 1997. – 112 с.

64. Гладков Л.А. Биоинспирированные методы в оптимизации: моногр. / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик и др. – М: Физматлит, 2009. – 384 с.
65. Гладун В.П. Растущие пирамидальные сети / В.П. Гладун // Новости искусственного интеллекта. – 2004. – № 1. – С. 30-40.
66. Гнатієнко Г.М. Експертні технології прийняття рішень / Г.М. Гнатієнко, В.Є. Снитюк. – К.: McLaut, 2008. – 444 с.
67. Гришко В.Ф. Оптимизация комплектования компьютерных систем по критериям надежности / В.Ф. Гришко, С.В. Жульжик // Наукові праці ВНТУ. – 2009. – № 2. – С. 17-22.
68. Гуляницкий Л.Ф. Формализация и использование знаний в системах дискретной оптимизации / Л.Ф. Гуляницкий // Кибернетика и системный анализ. – 1995. – № 4. – С. 126-136.
69. Дюбуа Р. Теория возможностей / Р. Дюбуа, П. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288 с.
70. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во И-та математики, 1999. – 270 с.
71. Зайченко О.Ю. Дослідження операцій / О.Ю. Зайченко, Ю.П. Зайченко. – К.: Видавничий дім «Слово», 2009. – 472 с.
72. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем / Ю.П. Зайченко. – К.: Видавничий дім «Слово», 2004. – 352 с.
73. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах / Ю.П. Зайченко. – К.: Слово, 2008. – 344 с.
74. Зак Ю.А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии / Ю.А. Зак. – М.: «ЛИБРОКОМ», 2013. – 352 с.
75. Згуровский М.З. Исследование социальных процессов на основе методологии системного анализа / М.З. Згуровский, А.В. Доброногов, Т.Н. Померанцева. – К.: Наукова думка, 1997. – 221 с.
76. Згуровский М.З. Иерархическое планирование в системах, имеющих

- сетевое представление технологических процессов и ограниченные ресурсы, как задача принятия решений / М.З. Згуровский, А.А. Павлов // Системні дослідження та інформаційні технології: науково-технічний журнал. – 2009. – № 3. – С. 70–75.
77. Згуровский М.З. Основы вычислительного интеллекта / М.З. Згуровский, Ю.П. Зайченко. – Київ: Наук. думка, 2013. – 407 с.
78. Згуровский М.З. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения / М.З. Згуровский, Н.Д. Панкратова. – К.: Наук. думка, 2005.
79. Землянський О.М. Інформаційна технологія прогнозування концентрації небезпечної хімічної речовини при аварійному викиді в умовах невизначеності [Текст] : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06 / О. М. Землянський. – Черкаси, 2014. – 20 с.
80. Землянський О.М. Моделі та еволюційні методи оптимізації структури систем пожежного моніторингу будівель і споруд [Текст]: автореф. дис ... канд. техн. наук / О.М. Землянський. – Київ, 2012. – 22 с.
81. Иваненко Д. Локальный поиск с чередующимися окрестностями для задачи размещения с ограничениями по мощности / Д. Иваненко, Ю. Кочетов // Материалы III Всеросс. Конф. «проблемы оптимизации и экономические приложения», 11-15 июля. – 2008. – Омск. – С. 105.
82. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко. – К.: Техника, 1975. – 312 с.
83. Исаев С.А. Разработка и исследование генетических алгоритмов для принятия решений на основе многокритериальных нелинейных моделей / Автореф. дисс. к.т.н.– Н. Новгород: НГУ, 2000. – 18 с.
84. Исмагилова Л.А. Интеллектуальная система поддержки решений по управлению производством в условиях неопределенности / Л.А. Исмагилова, В.Ю. Афанасьев // Информационные технологии. – 2000. – № 11. – С. 32–37.
85. Канеман Д. Принятие решений в неопределенности. Правила и

- предубеждения/ Д. Канеман, П. Словик, А. Тверски. – Гуманитарный центр, 2021. – 540 с.
86. Кисляков А. В. Генетические алгоритмы: математический анализ некоторых схем репродукции / А. В. Кисляков // Информационные технологии. – 2000. – № 12. – С. 9–14.
87. Кодекс цивільного захисту України (Закон України № 5403-VI від 2.10.2012 р. із змінами і доповненнями) / Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text>.
88. Кормен Т. Алгоритмы: Построение и анализ / Т. Кормен, Ч. Лайзерсон, Р. Ривест, К. Штайк. – М.: «Вильямс», 2005. – 1296 с.
89. Кришталь В.М. Визначення оптимального варіанту комплектації аварійно-рятувальної техніки з використанням нечітких висновків / В.М. Кришталь, А.В. Сергеев, В.Є. Снитюк // Вестник НТУ "ХПИ". – 2015. – № 49 (1158). – С. 144-148.
90. Кришталь В.М. Еволюційне моделювання процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки / В.М. Кришталь, П.П. Кучер, В.Є. Снитюк // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2015: матеріали 10-ї міжн. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2015 р.). – Чернігів. – 2015. – С. 237-241.
91. Кришталь В.М. Еволюційний метод формування оптимального комплекту аварійно-рятувальної техніки / В.М. Кришталь, В.Є. Снитюк // Математичні машини і системи. – 2016. – № 1. – С. 168-174.
92. Кришталь В.М. Інтелектуальні технології розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки / В.М. Кришталь // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ-Черкаси, 2017 р.). – Київ. – 2017. – С. 251.
93. Кришталь В.М. Інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень при розв'язанні задачі комплектування техніки / В.М. Кришталь // Ін-

- формаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2015) : матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 2015 р.). – Одеса. – 2015. – С. 264-266.
94. Кришталь В.М. Критерій актуальності обладнання при розв'язанні задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності / В.М. Кришталь, В.Є. Снитюк, Д.С. Федоренко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – 2021. – № 2(8). – С. 70-76.
95. Кришталь В.М. Оптимізація процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки / В.М. Кришталь, В.Є. Снитюк // Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2018: матеріали 13-ї міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2018 р.). – Чернігів. – 2018. – С. 180-181.
96. Кришталь В.М. Принципи і критерії комплектування аварійно-рятувальної техніки / В.М. Кришталь // Електроніка та інформаційні технології (ЕЛІТ-2015): матеріали VII Українсько-польської наук.-практ. конф. (м. Львів-Чинадієво, 2015 р.). – Львів. – 2015. – С. 8-9.
97. Кришталь В.М. Цільова функція в задачі неповного комплектування аварійно-рятувальної техніки / В.М. Кришталь // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): матеріали III міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ-Черкаси, 2015 р.). – Київ. – 2015. – С. 218.
98. Крышталь В.Н. Задача комплектования аварийно-спасательной техники и эволюционный метод решения / В.Н. Крышталь // Інформаційні технології та взаємодії (ІТ&І – 2015: матеріали II міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ, 2015 р.). – Київ. – 2015. – С. 308-310.
99. Крышталь В.Н. Проблема комплектования аварийно-спасательной техники и технологии ее решения / В.Н. Крышталь, В.Е. Снитюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – Вып. 3 (72), Т. 6. – С. 35-41.

100. Куваева В. И. Предварительная обработка экспертной информации при формировании агрегированной консенсусной ранговой оценки / В.И. Куваева В.А., Болтенков, А.В. Позняк // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки. – 2018. – Том 29 (68). Ч.1, Т 1. – С. 155-162.
101. Кузнецов Ю. Концептуальный пожарный автомобиль – 2000 / Ю. Кузнецов, Н. Навценя, Ю. Яковенко // Бюлетень пожежної безпеки. – 1999. – № 1. – С. 49-57.
102. Курейчик В.М. Эволюционные вычисления: генетическое и эволюционное программирование / В.М. Курейчик, С.И. Родзин //Новости искусственного интеллекта. – 2003. – № 5. – С. 13-20.
103. Кучер П. Формализация задачи комплектования и эволюционные аспекты ее решения / П. Кучер, В. Снитюк // Штучний інтелект. – 2009. – № 4. – С. 268-273.
104. Кучер П.П. Комплектование аварийно-спасательной техники – задача нечеткой многокритериальной оптимизации / П.П. Кучер, В.Е. Снитюк // АСУ и приборы автоматики. – 2009. – Вып. 149. – С. 60-65.
105. Кучер П.П. Метод решения задачи комплектования аварийно-спасательной техники с использованием принципа доминирования и генетического алгоритма / П.П. Кучер, В.Є. Снитюк // Вісник національного транспортного університету. – 2010. – № 21. – С. 431-437.
106. Лавров Є.А. и др. Математические методы исследования операций / Є.А. Лавров и др. – Суми: СДУ, 2017. – 212 с.
107. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев. – М.: Логос, 2003. – 392 с.
108. Левитин А.В.. Алгоритмы: введение в разработку и анализ / А.В. Левитин. – М.: «Вильямс», 2006. – 576 с.
109. Лотов А.В. Многокритериальные задачи принятия решений / А.В. Лотов, И.И. Поспелова. – М.: Макс Пресс, 2008.

110. Михалевич В.С. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем / В.С. Михалевич, В.Л. Волкович. – М.: Наука, 1982. – 286 с.
111. Нужнов Е.В. Трехмерная упаковка на основе эвристических процедур / Е.В. Нужнов, А.В. Барлит // Известия ТРТУ. – 2002. – № 3. – С. 95-101.
112. Панфілов Є.В. Технічні засоби і обладнання, що застосовуються при веденні пошуково-рятувальних робіт (Аварійно-рятувальний інструмент). Навчальний посібник. Переклад / Є.В. Панфілов. – СпБ., 2007. – 53 с.
113. Пожежна та аварійно-рятувальна техніка: (Історія, сьогодення, майбутнє) / О.М. Ларін, І.М. Грицина, С.В. Васильєв, Б.І. Кривошей; Під заг. ред. О.М. Ларіна. – Х.: АГЗУ, 2005. – 160 с.
114. Ротштейн А.П. Влияние методов дефаззификации на скорость настройки нечеткой модели / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Кибернетика и системный анализ. – 2002. – Том 5. – С. 169-176.
115. Ротштейн А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А.П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
116. Ротштейн А.П. Нечеткий многокритериальный анализ вариантов с применением парных сравнений / А.П. Ротштейн, С.Д. Штовба // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 3. – С.150-154.
117. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М: Горячая линия-Телеком, 2008. – 452 с.
118. Саати Т. Аналитическое планирование организации систем / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.
119. Сетлак Г. Решение задач многокритериальной оптимизации с использованием генетических алгоритмов / Г. Сетлак // Системні дослідження та інформаційні технології. – 2002. – № 3. – С. 32-42.

120. Смирнов А.В. О задаче упаковки в контейнеры / А.В. Смирнов // УМН. – 1991. – Т. 46, вып. 4 (280). – С. 173–174.
121. Снитюк В. Информационно-аналитические модели и эволюционные аспекты решения задача комплектования / В. Снитюк, П. Кучер // «Decision Making and Business Intelligence Strategies and Techniques», Number 3: Supplement to Int. Journal “Information Technologies and Knowledge”. – 2008. – Vol. 2. – P. 133-138.
122. Снитюк В. Эволюционное моделирование процесса распространения пожара / В. Снитюк, А. Биченко // Proc. XIII-th Int. Conf. Knowledge-dialogue-Solution”. – Bulgaria, Varna. –2007 (June). – P. 247-254.
123. Снитюк В.Е. Комплектование аварийно-спасательной техники – задача нечеткой многокритериальной оптимизации / В.Е. Снитюк, П.П. Кучер // АСУ и приборы автоматики. – 2009. – Вып. 149. – С. 60-65.
124. Снитюк В.Е. Модели и методы определения компетентности экспертов на базе аксиомы несмещенности / В.Е. Снитюк, Рифат Мохаммед Али // Вісник ЧІТІ. – 2000. – № 4. – С. 121-126.
125. Снитюк В.Е. Моделирование и прогнозирование процессов на рынке недвижимости / В.Е. Снитюк, О.Н. Мирошник. – Черкассы: “Чабаненко”, 2014. – 416 с.
126. Снитюк В.Е. Эволюционные технологии принятия решений при пожаротушении / В.Е. Снитюк, А.Н. Джулай, А.А. Быченко. – К.: Маклаут, 2008. – 268 с.
127. Снитюк В.Є. Оптимізація процесу оцінювання в умовах невизначеності на основі структуризації предметної області та аксіоми незміщеності / В.Є. Снитюк, Г.М. Гнатієнко // Штучний інтелект. – 2008. – № 3. – С. 217-223.
128. Снитюк В.Є. Спрямована оптимізація і особливості еволюційної генерації потенційних розв’язків // Матеріали V Міжн. школи-семінару «Теорія прийняття рішень», Ужгород (1-6 жовтня 2012). – С. 182-183.

129. Таха Х.А. Глава 14. Теория игр и принятия решений // Введение в исследование операций = Operations Research: An Introduction. – 7-е изд. / Х.А. Таха. – М.: «Вильямс», 2007. – С. 549-594.
130. Тимченко А.А. Информатика системного проектирования объектов новой техники / А.А. Тимченко, А.А. Родионов. – К.: Наук. думка, 1991. – 231 с.
131. Тимченко А.А. Исследование разрешимости задачи системного проектирования объектов новой техники / А.А. Тимченко, С.И. Алешников, В.Е. Снитюк // Препринт ИК НАН Украины. – Киев. – № 4-96. – 24 с.
132. Трофимова Л.А. Управление знаниями. Учебное пособие / Л.А. Трофимова, В.В. Трофимов. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ. 2012. – 77 с.
133. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; Под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
134. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.
135. Чавкин А.М. Методы и модели рационального управления в рыночной экономике / А.М. Чавкин. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 320 с.
136. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений / И.Г. Черноруцкий. – СПб.: ВHV, 2005. – 416 с.
137. Ширгазин Р.Р. Эволюционные методы и программное обеспечение для решения задач ортогональной упаковки на базе блочных структур: автореф. дис ... канд. техн. наук / Р.Р. Ширгазин. – Уфа, 2006. – 18 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Довідки про впровадження

ДОВІДКА

**про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Кришталя Василя Миколайовича
«Еволюційні технології підтримки прийняття рішень
при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки»
у ТОВ «Промислова компанія «Пожмашина»**

Результати дисертаційного дослідження старшого викладача кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України Кришталя Василя Миколайовича на тему: «Еволюційні технології підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – «Інформаційні технології» впроваджено в ТОВ «Промислова компанія «Пожмашина». Конструкторське бюро нашого підприємства забезпечує фонд вітчизняного машинобудування інноваційними розробками. Комплектування аварійно-рятувальних підрозділів сучасною технікою та забезпечення її роботоздатного стану є першочерговою задачею. На сьогодні здійснюється виробництво значної кількості найменувань засобів для проведення аварійних та рятувальних робіт. У той же час носій таких засобів – пожежний чи спеціальний автомобіль має обмежений корисний простір. Водночас, проблема комплектування аварійно-рятувальної техніки має певні особливості, які не дозволяють безпосередньо застосувати відомі моделі та методи. Зокрема, фактори, які впливають на ефективність процесу комплектування мають як кількісну, так і якісну природу.

У дисертаційному дослідженні розв'язано науково-прикладну задачу розробки моделей, методів та інструментальних засобів комплектування аварійно-рятувальної техніки, розроблено методику комплектування аварійно-рятувальної техніки та систему підтримки прийняття рішень при формуванні комплектів рятувального обладнання.

Таким чином, задача розробки моделей і методів підтримки прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки, що представлені Кришталем Василем Миколайовичем мають належний науковий рівень та практичний зміст, ґрунтуються на достатній кількості опрацьованих законодавчих, наукових та емпіричних джерел.

Директор з розвитку
ТОВ «ПК «ПОЖМАШИНА»



Олександр САВЧЕНКО

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Начальник Черкаського інституту
пожежної безпеки імені Героїв
Чорнобиля Національного університету
цивільного захисту України
кандидат технічних наук, професор
генерал-майор служби
цивільного захисту



Віктор ГВОЗДЬ
2021 року

АКТ

про впровадження у навчальний процес результатів
дисертаційного дослідження Криштала Василя Миколайовича на тему:
«Еволюційні технології підтримки прийняття рішень при комплектуванні
аварійно-рятувальної техніки»

Комісія у складі: голова – начальник навчально-методичного відділу, к.т.н., доцент, полковник служби цивільного захисту Джулай О. М. та члени комісії – начальник кафедри техніки та засобів цивільного захисту к.т.н., доцент, полковник служби цивільного захисту Биченко А. О., професор кафедри техніки та засобів цивільного захисту к.т.н., доцент, полковник служби цивільного захисту Стась С. В., начальник кафедри організації заходів цивільного захисту к.т.н., доцент, полковник служби цивільного захисту Швиденко А. В. склала даний акт про те, що результати дисертаційного дослідження Криштала В. М., на тему «Еволюційні технології підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки» впроваджені у навчальний процес Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України при викладанні дисциплін, а саме: «Організація експлуатації протипожежної техніки», «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка», «Автоматизовані системи управління та зв'язок» на другому (магістерському) рівні вищої освіти спеціальності 261 «Пожежна безпека».





У дисертаційному дослідженні використані результати вітчизняних та закордонних вчених у галузі автоматизованих систем управління, штучного інтелекту, технологій обробки даних та прикладних експертних систем.

Багатокритеріальність задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки, її складноформалізованість та слабка структурованість свідчать про актуальність розробки еволюційних технологій підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. Аргументовано доведено та розв'язано науково-прикладну задачу комплектування аварійно-рятувальної техніки, що характеризує новизну дослідження і особистий внесок автора, а результати розв'язання вказаної задачі підвищують якість та наукову складову у навчальному процесі при викладанні дисциплін «Організація експлуатації протипожежної техніки», «Інженерна та аварійно-рятувальна техніка», «Автоматизовані системи управління та зв'язок».

Важливо, що автором розроблена модель пошуку оптимального варіанту комплектування аварійно-рятувальної техніки, у якій, на відміну від попередніх, враховано дані про частоту та ефективність застосування комплектних елементів. Таким чином, аргументовано процес об'єктивізування при формуванні комплектів аварійно-рятувальної техніки.

Голова комісії:

Члени комісії:

	Олександр ДЖУЛАЙ
	Артем БИЧЕНКО
	Сергій СТАСЬ
	Андрій ШВИДЕНКО

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник начальника Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту з навчальної роботи кандидат технічних наук, доцент підполковник служби цивільного захисту

Сергій ЄРЕМЕНКО

«_____» 2021 року

АКТ

про впровадження у навчальний процес результатів дисертаційної роботи
«Еволюційні технології підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки»
 Кришталя Василя Миколайовича

Комісія у складі: голови – начальника навчально-методичного відділу, к.держ.упр., полковника служби цивільного захисту Павлова С.С. та членів комісії – начальника кафедри профілактики пожеж та безпеки життєдіяльності населення, к.т.н., доцента, полковника служби цивільного захисту Пруського А.В., начальника кафедри організації заходів цивільного захисту, к.т.н., с.н.с., полковника служби цивільного захисту Огурцова С.Ю., вивчила стан використання у навчальному процесі результатів дисертаційного дослідження здобувача наукового ступеня Кришталя В. М.

В дисертаційному дослідженні аргументовано доведено питання підвищення ефективності процесів прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях шляхом розробки моделей та еволюційних методів комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності. Розв'язано науково-прикладну задачу розробки моделей, методів та інструментальних засобів комплектування аварійно-рятувальної техніки, що дозволило одержати теоретичні та практичні результати. Розроблений метод комплектування аварійно-рятувальної техніки дозволяє знайти оптимізований варіант комплектації та ступінь його оптимальності. Розроблено структуру системи підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки та виконано експериментальну верифікацію розроблених моделей та методів.

Основні положення, одержані в дисертації, спрямовані на подальший розвиток технологій оптимізації процесів ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій. Розроблені моделі та методи складають методологічну базу процесів прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки.

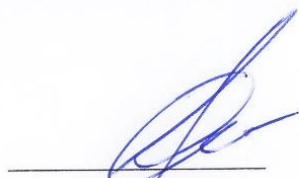
Таким чином, представлені результати наукового дослідження доведені до конкретних інженерних методик, алгоритмів і програм, мають важливе значення для Державної служби України з надзвичайних ситуацій і використовуються в

освітній діяльності Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту при підготовці магістрів за спеціальністю 261 «Пожежна безпека».

Впровадження результатів дисертації дозволило підвищити ефективність і якість навчального процесу та актуальність матеріалу, що стосується аспектів підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки.

Даний акт не є підставою для одержання премій та інших винагород із фондів Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту.

Голова комісії:

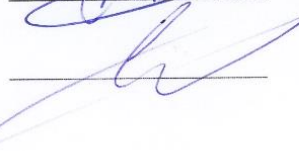


С.С. Павлов

Члени комісії:



А.В. Прусський



С.Ю. Огурцов

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Головного управління
Державної служби України з
надзвичайних ситуацій у Київській
області



Василь СЛОБОДЯНИК
2021 р.

АКТ

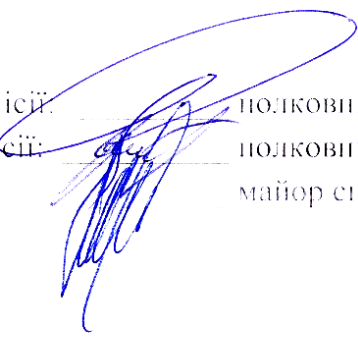
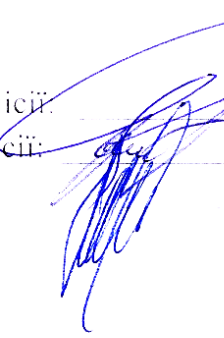
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Кришталя Василя Миколайовича
«Еволюційні технології підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки»

Комісія в складі: голова - заступник начальника Головного управління з реагування на НС полковник служби цивільного захисту Майстренко Сергій Олексійович; члени комісії — начальник управління ресурсного забезпечення полковник служби цивільного захисту Алексєнко Едуард Михайлович, провідний фахівець відділу технічного забезпечення майор служби цивільного захисту Биченко Сергій Олександрович розглянула результати дисертаційної роботи Кришталя В.М. «Еволюційні технології підтримки прийняття рішень при комплектуванні аварійно-рятувальної техніки».

Проблема комплектування аварійно-рятувальної техніки інструментами полягає в унікальності кожного комплексу інструментів та обладнання в залежності від району використання аварійно-рятувальної техніки. Оптимізація складу комплексу аварійно-рятувальних інструментів та обладнання дозволить значно підвищити ефективність використання аварійно-рятувальної техніки та скоротити матеріальні видатки на комплектування. Тому задача розробки моделей і методів підтримки прийняття рішень щодо комплектування аварійно-рятувальної техніки є важливою і актуальною.

В дисертаційному дослідженні чітко обґрунтовано підвищення ефективності процесів прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях шляхом розробки сучасних підходів до питання комплектування аварійно-рятувальної техніки. Виконаний аналіз принципів, моделей, методів та інструментальних засобів підтримки прийняття рішень при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій та комплектуванні аварійно-рятувальної техніки. Розглянуто задачу комплектування аварійно-рятувальної техніки та побудовано комплекс моделей, які супроводжуватимуть одержаний розв'язок задачі комплектування по етапах його життєвого циклу.

Отримані автором теоретичні результати, а саме, інформаційно-аналітичні моделі, методика комплектування аварійно-рятувальної техніки та система підтримки прийняття рішень при формуванні комплектів рятувального обладнання, мають важливе значення для конкретних інженерних методик та можуть використовуватися Державною службою України з надзвичайних ситуацій.

Голова комісії:  полковник с/з Сергій МАЙСТРЕНКО
Члени комісії:  полковник с/з Едуард АІСКСССІНКО
майор с/з Сергій БИЧЕНКО

Додаток Б

Елементи бази даних

Таблиця Б.1

№	Назва	Id	Потужність	Надійність	Функціональність	A	B	C	Актуальність	Ціна
1	Різак_К	CU5030	549	0,8	0,6	45	20	40	0,6	120
2	Різак_К	CU5040	764	0,8	0,7	54	23	42	0,4	135
3	Різак_К	CU5050	1389	0,8	0,75	60	22	40	0,5	150
4	Різак_К	CU5060	1765	0,8	0,8	62	24	37	0,3	170
5	Різак_Т	CU5030	579	0,85	0,65	56	17	38	0,5	132
6	Різак_Т	CU5040	794	0,85	0,7	60	17	38	0,6	140
7	Різак_Т	CU5050	1412	0,85	0,75	65	18	46	0,5	145
8	Різак_Т	CU5060	1793	0,85	0,8	68	20	50	0,6	160
9	Різак_У	CU4007	220	0,8	0,9	38	25	40	0,7	212
10	Різак_У	CU4031	380	0,8	0,9	42	25	45	0,5	230
11	Різак_У	CU4035	380	0,8	0,9	45	30	40	0,5	234
12	Різак_У	CU4040	470	0,8	0,9	45	30	45	0,6	240
13	Комбінструмент	GT5111	206	0,7	0,6	50	42	52	0,44	266
14	Комбінструмент	GT5112	206	0,7	0,65	48	40	50	0,5	240

15	Комбінструмент	GT5117	204	0,7	0,68	55	45	55	0,6	284
16	Комбінструмент	GT5118	204	0,6	0,72	55	45	55	0,6	284
17	Комбінструмент	GT4120	247	0,8	0,6	60	46	52	0,7	312
18	Комбінструмент	GT4150	380	0,8	0,7	72	56	60	0,7	342
	Домкрат_S	RA4311	100	0,9	0,7	31	7	20	0,65	312
	Домкрат_S	RA4313	100	0,9	0,7	41	9	20	0,7	315
	Домкрат_S	RA4315	100	0,9	0,75	56	10	20	0,6	342
	Домкрат_S	RA4321	161	0,9	0,75	51	11	20	0,6	356
	Домкрат_S	RA4331	161	0,8	0,75	61	12	20	0,5	381
	Домкрат_S	RA4322	161	0,8	0,8	74	15	20	0,5	391
	Домкрат_S	RA4331	161	0,85	0,8	94	18	20	0,54	402
	Домкрат_T	TR5340	217	0,85	0,85	33	9	20	0,4	415
	Домкрат_T	TR5350	217	0,85	0,85	58	15	20	0,4	437
	Домкрат_T	TR5370	231	0,85	0,85	63	16	20	0,25	455
	Домкрат_T	XR4360	231	0,7	0,9	62	13	20	0,2	487
	Насосна станція	SPU161	940	0,9	0,6	80	70	90	0,25	521
	Насосна станція	SPU162	1600	0,85	0,6	80	70	96	0,3	555
	Насосна станція	DSPU31	2600	0,8	0,7	80	70	90	0,3	545

	Насосна станція	SR101	1600	0,8	0,75	95	75	85	0,35	578
	Насосна станція	SR102	1600	0,85	0,7	95	75	90	0,4	585
	Насосна станція	SR201	2200	0,75	0,75	90	80	90	0,4	624
	Насосна станція	SR202	2200	0,7	0,6	80	90	75	0,35	656
	Насосна станція	SR203	1100	0,7	0,75	80	80	90	0,6	685
	Насосна станція	SR204	1800	0,6	0,6	80	90	70	0,55	814
	Насосна станція	SR311	2200	0,8	0,7	80	95	75	0,6	756
	Насосна станція	SR321	2200	0,8	0,8	90	80	80	0,5	785
	Насосна станція	SR312	1800	0,8	0,8	80	85	90	0,65	685
	Насосна станція	SR322	1800	0,9	0,8	80	95	85	0,5	750
	Насосна станція	SR401	4100	0,75	0,75	95	80	70	0,6	805
	Насосна станція	SR402	1800	0,8	0,7	95	85	75	0,65	820
	Насосна станція	SR403	3100	0,7	0,8	95	80	70	0,7	845
	Насосна станція	SR404	4100	0,7	0,75	85	85	90	0,7	850
	Насосна станція	SR405	4000	0,7	0,75	90	90	85	0,7	880

Додаток В**Картка обліку пожежі**

ЗАТВЕРДЖЕНО

Наказ МНС України

№ _____

КАРТКА ОБЛІКУ ПОЖЕЖІ**I. ЗАГАЛЬНІ ДАНІ**

(необхідні дані записати текстом або підкреслити і заповнити кодове поле)

1 | | | | |2 | | | | |3 | | | | |4 | | | | | | | | |5 | | | | | | | | |

|

1. ГУ(У)МНС (табл.1)
2. Район (місто), підрозділ
3. Тип населеного пункту (місто – 1, селище міського типу – 2, сільський населений пункт - 3, поза межами населеного пункту – 4, відселена зона - 5)
4. Номер картки; основна (0), додаткова (1-9)
5. Дата виникнення пожежі “ ___ ” _____ 20__ р.

II. ОБ'ЄКТ ПОЖЕЖІ6 | | | | |7 | | | | |8 | | | | |9 | | | | | | | | |10 | | | | | | | | |12 | | | | | | | | |13 | | | | |14 | | | | |15 | | | | | | | | |16 | | | | | | | | |17 | | | | |18 | | | | |19 | | | | |20 | | | | |21 | | | | | | | | |22 | | | | | | | | |23 | | | | |

6. Адреса об'єкта пожежі _____
7. Галузь виробництва (табл.2) _____
8. Форма власності підприємства (установи, організації) (табл.3)
9. Відомча підпорядкованість (табл.4) _____
10. Об'єкт пожежі (табл.5)
11. Назва об'єкта пожежі _____
12. Поверховість будівлі ___; поверх, на якому виникла пожежа _____
13. Ступінь вогнестійкості (I - 1, II - 2, III - 3, IIIa - 4, IIIб - 5, IV - 6, IVa - 7, V - 8)
14. Наявність або відсутність УПА (місце виникнення пожежі обладнано УПА – 1, відсутність УПА у місці виникнення пожежі – 2)
15. Призначення УПА (установка пожежогасіння - 1, установка пожежної сигналізації - 2, система протидимного захисту - 3)
16. Результати дії УПА (установка пожежогасіння: пожежа ліквідована - 1, пожежа локалізована - 2, установка пожежогасіння завдання не виконала - 3, установка пожежогасіння не спрацювала - 4; установка пожежної сигналізації: завдання виконала - 5, не спрацювала - 6; система протидимного захисту: спрацювала - 7, не спрацювала - 8)
17. Наявність або відсутність системи централізованого спостереження (об'єкт обладнаний - 1, не обладнаний - 2)
18. Результати дії системи централізованого спостереження (сигнал передано на пульт пожежного спостереження – 1, сигнал не передано на пульт пожежного спостереження – 2)
19. Місце виникнення пожежі (табл.6) _____
20. Категорія виробництва: А - 1, Б - 2, В - 3, Г - 4, Д – 5
21. Виріб (пристрій, матеріал, продукція), на якому (або від якого) безпосередньо виникла пожежа (табл.7) _____
22. Країна-виробник виробу (пристрою, матеріалу, продукції), на якому (або від якого) безпосередньо виникла пожежа, згідно з кодами Міжнародної асоціації EAN (табл.8) _____
23. Сертифікованість на відповідність виробу (пристрою, матеріалу, продукції), на якому (або від якого) безпосередньо виникла пожежа, українським нормам (не підлягає сертифікації - 0, сертифіковано в Україні –

1, сертифіковано в іншій країні – 2, не сертифіковано - 3)

III. НАСЛІДКИ ПОЖЕЖІ

24|_|_|_|, |_|_|_|| ✓

25|_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|| ✓

26|_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|| ✓

27|_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|| ✓

28|_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|| ✓

29|_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|| ✓

30|_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|| ✓

31|_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|, |_|_|_|| ✓

32|_|_|_|_|_|_|_|_|_|| ✓

33|_|_|_|_|_|_|_|_|_|| ✓

34|_|_|_|_| ✓

35|_|_|_|_| ✓

36|_|_|_|_| ✓

37|_|_|_|_|, |_|_|_|_|_|| ✓

38|_|_|_|_| ✓

39|_|_|_|_| ✓

40|_|_|_|_| ✓

41|_|_|_|_| ✓

24. Виявлено загиблих на місці пожежі _____, з них дітей та підлітків до 18 років _____

25. Загинуло внаслідок пожежі _____, з них: дітей та підлітків до 18 років _____, працівників аварійно-рятувальної служби _____

П.І.Б

26. Вік загиблих _____

27. Стать загиблих (чоловіча - 1, жіноча – 2)

28. Соціальний стан загиблих (табл. 9)

29. Момент настання смерті (табл. 10)

30. Умови, що сприяли загибелі людей (табл. 11)

31. Травмовано осіб _____, з них дітей та підлітків до 18 років _____, працівників аварійно-рятувальної служби _____

32. Збиток від пожежі прямий _____ тис. грн.

33. Збиток від пожежі побічний _____ тис. грн.

34. Знищено _____, пошкоджено _____будівель, споруд, од.

35. Знищено _____, пошкоджено _____автотракторної та ін. техніки, од.

36. Знищено зернових та технічних культур _____, тонн

37. Знищено хліба на корені _____, у валках _____, га

38. Знищено кормів _____, тонн

39. Знищено, пошкоджено торфовищ _____, га

40. Загинуло тварин _____, голів

41. Загинуло птиці _____, шт.

42. Додатково вказати, що ще знищено (пошкоджено) _____

IV. ВРЯТОВАНО

43|_|_|_|, |_|_|_|| ✓

44|_|_|_|_| ✓

45|_|_|_|_| ✓

46|_|_|_|_| ✓

47|_|_|_|_| ✓

48|_|_|_|_| ✓

49|_|_|_|_|, |_|_|_|_|_|| ✓

50|_|_|_|_| ✓

51|_|_|_|_|| ✓

43. Людей _____, у т.ч. дітей та підлітків до 18 років _____

44. Тварин _____, голів

45. Птиці _____, шт.

46. Будівель, споруд _____, од.

47. Автотракторної та іншої техніки _____, од.

48. Зернових та технічних культур _____, тонн

49. Хліба на корені _____, у валках _____, га

50. Кормів _____, тонн

51. Торфовищ _____, га

52. Додатково вказати, що ще врятовано _____

53|_|_|_|_|_|_|_|_|| ✓

53. Усього матеріальних цінностей на суму _____, тис. грн.

V. РОЗВИТОК ТА ГАСІННЯ ПОЖЕЖІ

54|_|_|_|. |_|_|_|. |_|_|_|| ✓

55|_|_|_|| ✓

56|_|_|_|_|_|| ✓

57|_|_|_|_|_|| ✓

58|_|_|_|_|_|| ✓

59|_|_|_|_|_|| ✓

60|_|_|_|_|_|| ✓

61|_|_|_|. |_|_|_|. |_|_|_|| ✓

54. Дата повідомлення про пожежу « _____ » _____ 20__ р.

55. Пожежу ліквідовано до прибуття підрозділів аварійно-рятувальної служби - 1

56. Час виникнення _____ год. _____ хв.

57. Час повідомлення _____ год. _____ хв.

58. Час прибуття 1-го підрозділу аварійно-рятувальної служби _____ год. _____ хв.

59. Час локалізації _____ год. _____ хв.

60. Час ліквідації _____ год. _____ хв.

61. Дата ліквідації пожежі « _____ » _____ 20__ р.

62|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 63|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

62. Умови, що сприяли поширенню пожежі (табл. 12)
 63. Умови, що ускладнювали гасіння пожежі (табл. 13)

VI. СИЛИ ТА ЗАСОБИ

64|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 65|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 66|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 67|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 68|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 69|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 70|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 71|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 72|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 73|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 74|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 75|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
 76|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

64. Учасники гасіння пожежі (табл. 14)
 65. Кількість учасників гасіння пожежі _____, осіб
 66. Техніка (табл. 15)
 67. Кількість _____, од.
 68. Подано стволів (табл. 16)
 69. Кількість _____, од.
 70. Вогнегасні речовини (табл. 17)
 71. Первинні засоби пожежогасіння (табл. 18)
 72. Джерела водопостачання (табл. 19)
 73. Керівник гасіння пожежі (табл. 20)
 74. Використання ГДЗС – 1
 75. Кількість ланок ГДЗС _____
 76. Загальний час роботи ланок ГДЗС _____ год.

VII. ХІД РОЗСЛІДУВАННЯ ПОЖЕЖІ ТА ВЖИТІ ЗАХОДИ

77|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

77. Вїзд на місце пожежі: працівника органу дізнання місцевого підрозділу - 1, працівника органу дізнання та міліції - 2, слідчо-оперативної групи у повному складі - 3, слідчо-оперативної групи за участю прокуратури - 4, ВПЛ - 5, керівництва ГУ(У)МНС - 6, керівництва МНС - 7, інших - 8

78|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

78. Розслідування (дізнання) здійснює співробітник: територіального підрозділу – 1, місцевого органу дізнання - 2, міськ(рай)У(В)ВС - 3, прокуратури - 4, ГУ(У)МВС - 5, МВС – 6, МНС - 7, інші – 8

79|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

79. Причина пожежі (табл.21) _____

80|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

80. Особа, винна у виникненні пожежі (П.І.Б.) (табл.22, 23) _____

81|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

81. Стан особи, винної у виникненні пожежі : стан алкогольного сп'яніння - 1, вплив наркотичних препаратів – 2, душевнохвора - 3

82|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

82. Вік особи, винної у виникненні пожежі, _____ років

83|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

83. Результат розслідування (дізнання): матеріали по пожежі списані рапортом - 1, здійснюється перевірка - 2, прийнято рішення за ст. 97 КПК: відмовлено в ПКС - 3, порушено кримінальну справу – 4, направлено за належністю – 5; направлено за підслідністю – 6, постанову про відмову про порушення КС скасовано: прокурором – 7, за поданням органу дізнання - 8

84|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

84. Рішення у справі по пожежі: порушено адміністративну справу – 1, матеріали направлено відповідно до ст. 99 КПК: громадській організації – 2; службі у справах неповнолітніх – 3; керівнику (власнику) об'єкта – 4

85|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

85. За ст. _____ КК України, КУпАП, ч. _____

86|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

86. Номер кримінальної справи або постанови про відмову в ПКС

87|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

87. Від "___" _____ 20__ р.

88|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|

88. Вжиті заходи за фактом пожежі : застосовано адмінзаконодавство: винесено попередження – 1; накладено штраф – 2; припинена робота: виробництва - 3, окремої дільниці виробництва - 4, припинена експлуатація: агрегату - 5, приладу опалення - 6, дільниці електромережі – 7, направлено подань про усунення причин та умов – 8, складено адмінпротоколів про невиконання подань – 9, притягнуто судом за невиконання подань - 10

VIII. ХІД РОЗСЛІДУВАННЯ КРИМІНАЛЬНОЇ СПРАВИ

89| | /

89. Хід розслідування КС: у провадженні - 1, направлена на експертизу – 2, зупинена - 3, закрита - 4, закінчена - 5, відновлена - 6, направлена до прокуратури – 7, перекваліфікована – 8, об'єднана - 9

Картку обліку пожежі склав:

_____ " ____ " _____ 20___. р.
(посада, звання, П.І.Б., підпис)

Достовірність та об'єктивність заповнення картки підтверджую:

_____ " ____ " _____ 20___. р.
(посада, звання, П.І.Б., підпис)

Дата надходження картки до ГУ(У)МНС

90| | | . | | | . | | | /

90. " ____ " _____ 20___. р.

Приміт-

ка _____

—

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Кришталь В.М., Снитюк В.Є. Еволюційний метод формування оптимального комплексу аварійно-рятувальної техніки. Математичні машини і системи. 2016. № 1. С. 168-174.

2. Кришталь В.М., Сергеев А.В., Снитюк В.Є. Визначення оптимального варіанту комплектації аварійно-рятувальної техніки з використанням нечітких висновків. Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : зб. наук. пр. Темат. вип.: Механіко-технологічні системи та комплекси. Харків : НТУ "ХПІ". 2015. № 49 (1158). С. 144-148.

3. Крышталь В.Н., Снитюк В.Е. Проблема комплектования аварийно-спасательной техники и технологии ее решения. Восточно-европейский журнал передовых технологий. Харьков: ЧП «Технологический центр». 2014. Вып. № 3 (72). Том 6. С. 35-40.

4. Кришталь В.М., Снитюк В.Є., Федоренко Д.С. Критерій актуальності обладнання при розв'язанні задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки в умовах невизначеності. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2021. № 2(8). С. 70-76.

Статті у періодичних фахових виданнях іноземних держав:

5. Kryshstal V., Snytyuk V. System analysis of formation of emergency rescue equipment sets. International Journal «Information Technologies & Knowledge». – България, София : ITNEA 2016. Vol. 10. № 1. P. 91-100.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

6. Кришталь В.М., Кучер П.П., Снитюк В.Є. Еволюційне моделювання процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки. Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2015: матеріали 10-ї міжн. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2015 р.). Чернігів. 2015. С. 237-241.

7. Кришталь В.М. Цільова функція в задачі неповного комплектування аварійно-рятувальної техніки. Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): матеріали III міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ-Черкаси, 2015 р.). Київ. 2015. С. 218.

8. Кришталь В.М. Принципи і критерії комплектування аварійно-рятувальної техніки. Електроніка та інформаційні технології (ЕЛІТ-2015): матеріали VII Українсько-польської наук.-практ. конф. (м. Львів-Чинадієво, 2015 р.). Львів. 2015. С. 8-9.

9. Крышталь В.Н. Задача комплектования аварийно-спасательной техники и эволюционный метод решения. Інформаційні технології та взаємодії (ІТ&І – 2015: матеріали II міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ, 2015 р.)). С. 308-310.

10. Кришталь В.М. Інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень при розв'язанні задачі комплектування техніки. Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2015) : матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 2015 р.). Одеса. 2015. С. 264-266.

11. Кришталь В.М. Інтелектуальні технології розв'язання задачі комплектування аварійно-рятувальної техніки. Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): матеріали IV міжн. наук.-практ. конф. (м. Київ-Черкаси, 2017 р.). Київ. 2017. С. 251.

12. Кришталь В.М., Снитюк В.Є. Оптимізація процесу комплектування аварійно-рятувальної техніки. Математичне та імітаційне моделювання систем. МОДС 2018: матеріали 13-ї міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 2018 р.). Чернігів. 2018. С. 180-181.