

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук  
(повна назва)

Кафедра Системотехніки  
(повна назва)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

другий (магістерський)  
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Розробка компонентів системи підтримки прийняття рішень у сфері  
закупівлі озброєнь та алгоритмів її функціонування  
(тема)

Виконав: студент II курсу, групи СПРМ-22-2

Бзот С.В.  
(прізвище, ініціали)

спеціальність 122 Комп'ютерні науки

тип програми освітньо-наукова

Освітня програма Системне проектування  
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Решетнік В.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри \_\_\_\_\_ проф. Гребеннік І.В.  
(підпис) (прізвище, ініціали)

Я, як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

18.06.2024



---

Кваліфікаційна робота не містить відомостей заборонених до відкритого опублікування.

Кваліфікаційна робота виконана у відповідності до стандартів, що діють в Україні.

Попередній захист проведений 18.06.2024.

Керівник кваліфікаційної роботи  доц. Решетнік В. М.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Системотехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 122 Комп'ютерні науки та технології

(код і повна назва)

Освітньо-професійна програма Системне проектування

(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри Системотехніки

проф. Гребеннік І.В.

«    »      2024 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Студентові Бзоту Станіславу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка компонентів системи підтримки прийняття рішень у сфері закупівлі озброєнь та алгоритмів її функціонування  
затверджена наказом по університету від 01 квітня 2024 р. № 259СТ.
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 18 червня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Дослідити сучасний стан системи закупівель у сфері оборони, особливості застосування систем підтримки прийняття рішень у військовій сфері, розробити модель системи у сфері закупівлі озброєнь. Дослідити математичні методи та алгоритми для розв'язання завдань відбору зразків озброєння, структури системи та компоненти для реалізації. Дослідити можливості розробленої системи аналізу. Перелік використовуваних програмних засобів: ОС Microsoft Windows, IBM Rational Rose, BPWin, MySQL.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі 4.1 Вступ. 4.2 Аналіз предметної області, що стосується системи закупівлі озброєнь у ЗСУ. 4.3 Аналіз досвіду планування оборонних закупівель країн НАТО. 4.4. Особливості застосування систем підтримки прийняття рішень у військовій сфері 4.5 Постановка задачі дослідження. 4.6 Обґрунтування архітектури СППР у сфері закупівлі озброєнь. 4.7. Визначення функціональних вимог до СППР у сфері закупівлі озброєнь. 4.8. Визначення вимог до інтерфейсу клієнтської частини СППР. 4.9. Діаграма послідовності використання СППР. 4.10. Розробка алгоритмів функціонування СППР у сфері закупівлі озброєнь. 4.11. Архітектура інформаційної системи СППР. 4.12. Обґрунтування технології створення компонентів СППР у сфері закупівлі озброєнь. 4.13. Реалізація бази даних СППР у сфері закупівлі озброєнь. 4.14. Розробка інтерфейсу клієнтської частини вебзастосунку СППР. 4.15. Дослідження функціонування СППР у сфері закупівлі озброєнь. 4.16. Висновки.
5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (слайдів) 5.1 Мета, об'єкт, предмет дослідження. Постановка завдання (1 акруш формату А4). 5.2 Основні компоненти СППР. Контекстна діаграма СППР (1 акруш формату А4). 5.3 Діаграми декомпозиції функцій (1 акруш формату А4). 5.4 Діаграма варіантів використання СППР. Діаграма послідовності (1 акруш формату А4). 5.5 ТТХ ЗРК як показники ефективності. Алгоритм знаходження оптимального рішення за методом


ідеальної точки (1 акруш формату А4). 5.6. Алгоритм послідовної оптимізації. Архітектура інформаційної системи СППР (1 акруш формату А4). 5.7. Реалізація БД. Карта вебсторінок СППР. (1 акруш формату А4). 5.8. Інтерфейс клієнтської частини. Основні характеристики ЗРК середньої дальності (1 акруш формату А4). 5.9. Дослідження функціонування СППР у сфері закупівлі озброєнь (3 акруші формату А4).

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1.	Отримання завдання на дипломне проектування	01.04.24	Виконано
2.	Аналіз предметної області: аналіз завдання, літератури та аналогів з теми дипломної роботи	01.04 – 13.04.24	Виконано
3.	Структурне, функціональне проектування	14.04 – 24.04.24	Виконано
4.	Розробка проектних рішень	14.04 – 18.05.24	Виконано
5.	Розробка та дослідження програмного рішення	18.05.24 – 13.06.24	Виконано
6.	Оформлення пояснювальної записки та програмної документації	14.06 – 18.06.24	Виконано
7.	Оформлення графічної частини та презентаційних матеріалів комп'ютерного захисту	14.06 – 18.06.24	Виконано
8.	Представлення на рецензування	18.06.24	Виконано
9.	Представлення дипломної роботи в ДЕК	20.06.24	Виконано

Дата видачі завдання 01 квітня 2024 р.

Студент \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Бзот С.В.  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ доц. Решетнік В.М.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Атестаційна робота: 70 стор., 23 рис., 5 табл., 2 додатки, 47 джерел.  
Графічний матеріал дипломної роботи містить 10 плакатів.

Об'єкт дослідження – система оборонного планування та закупівель озброєнь у Збройних Силах України.

Предмет дослідження – компоненти системи підтримки прийняття рішень у сфері закупівлі озброєнь та алгоритми її функціонування.

Метою роботи є дослідження принципів побудови та методичного підходу до створення системи підтримки прийняття рішень (СППР) у сфері закупівлі озброєнь та алгоритмів її функціонування для розв'язання завдання визначення оптимального варіанту забезпечення Збройних Сил України відповідними зразками озброєння та військової техніки, раціонального розподілу фінансових ресурсів держави в інтересах розвитку оборонного планування, що підвищить ефективність управління державними ресурсами. Для комплексного дослідження запропоновано розглядати якісний та кількісний аспекти цього завдання.

Методи розробки – методи системного та функціонального аналізу, методи розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації, методи об'єктно-орієнтованого моделювання та програмування.

Результатом атестаційної роботи є розроблені компоненти СППР у сфері закупівлі озброєнь для ЗСУ та алгоритми її функціонування.

Сфера застосування – підрозділи Міністерства оборони України, інші органи, що виконують завдання у сфері управління державними фінансовими ресурсами.

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА, СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ, БАГАТОКРИТЕРІЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ, АЛГОРИМТ, ЗАХИСТ, БЕЗПЕКА.

## ABSTRACT

Attestation work: 70 pages, 23 figures, 4 tables, 2 annexes, 47 sources. The graphic material of the thesis contains 10 posters.

The object of research is the system of defense planning and procurement of weapons in the Armed Forces of Ukraine.

The subject of the study is the components of the decision-making support system in the field of arms procurement and the functioning algorithms.

The purpose of the work is study the principles of construction and a methodical approach to the creation of a decision support system (DSS) in the field of arms procurement and the operation algorithms in order to solve the issue of determining the optimal option for providing the Armed Forces of Ukraine with appropriate samples of weapons and military equipment, rational distribution of the state's financial resources in the interests of the development of defense planning, which will increase the efficiency of state resource management. For a comprehensive study, it is proposed to consider the qualitative and quantitative aspects of this task.

Development methods – methods of system and functional analysis, methods of solving multi-criteria optimization problems, methods of object-oriented modeling and programming.

The result of the attestation work is the developed components of the DSS in the field of weapons procurement for the Armed Forces and the operation algorithms.

Scope – subdivisions of the Ministry of Defense of Ukraine, other bodies performing tasks in the field of management of state financial resources.

DEFENSE PLANNING, WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT,  
DEFENSE, MULTIPLE CRITERIA, PROTECTION, SAFETY, DEVELOPMENT

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ.....	6
ВСТУП .....	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	10
1.1 Аналіз нормативно-правового забезпечення системи державних оборонних закупівель .....	10
1.2 Аналіз досвіду планування оборонних закупівель країн НАТО.....	13
1.3 Особливості застосування систем підтримки прийняття рішень у військовій сфері.....	16
1.4 Постанова завдання на кваліфікаційну роботу .....	20
2 РОЗРОБКА ВИМОГ ДО КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА АЛГОРИТМІВ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ.....	23
2.1 Обґрунтування архітектури СППР у сфері закупівлі озброєнь .....	23
2.2 Визначення функціональних вимог до СППР у сфері закупівлі озброєнь.....	25
2.3 Визначення вимог до інтерфейсу клієнтської частини СППР .....	30
2.4 Діаграма послідовності використання СППР .....	32
2.5 Розробка алгоритмів функціонування СППР у сфері закупівлі озброєнь .....	34
2.5.1 Метод та алгоритм ідеальної точки.....	37
2.5.2 Метод та алгоритм послідовної оптимізації.....	39
3 РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЗАКУПІВЛІ ОЗБРОЄНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ .....	44
3.1 Архітектура інформаційної системи СППР .....	44
3.2 Обґрунтування технології створення компонентів СППР у сфері закупівлі озброєнь.....	45
3.3 Реалізація бази даних СППР у сфері закупівлі озброєнь.....	49
3.4 Розробка інтерфейсу клієнтської частини вебзастосунку СППР у сфері закупівлі озброєнь .....	55
3.5 Дослідження функціонування СППР у сфері закупівлі озброєнь .....	58
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	65
ДОДАТОК А ГРАФІЧНИЙ МАТЕРІАЛ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ .....	71
ДОДАТОК Б Текст програми .....	82

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

- БД – база даних;
- БП – бойова підготовка;
- БМП – броньовані машини піхоти;
- БТР – бронетранспортер;
- ВДУ – воєнна доктрина України;
- ЗВУ – засоби вогневого ураження противника;
- збрatr – зенітно-ракетна батарея;
- ЗРК – зенітно-ракетний комплекс;
- ЗСУ – збройні сили України;
- МОУ – Міністерство оборони України;
- ОВТ – озброєння та військова техніка;
- ОПР – особа, що приймає рішення;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- САУ – самохідна артилерійська установка;
- СППР – система підтримки прийняття рішень;
- СУБД – система управління базою даних;
- СУБМ – система управління базою моделей;
- ЦК – цільовий канал;
- CSS – Cascading Style Sheets;
- DSS – Decision Support Systems (система підтримки прийняття рішень);
- HTML – HyperText Markup Language;
- PHP (Hypertext Preprocessor – гіпертекстовий препроцесор) – скриптова мова програмування;
- SQL – Structured Query Language;
- UI/UX – User Interface/User Experience – призначений для користувача інтерфейс/користувацький досвід.

## ВСТУП

З часів розпаду Радянського Союзу та оголошення незалежності Україна отримала у спадщину все озброєння та військову техніку для Збройних Сил. За довгі роки експлуатації цього озброєння вже в незалежній Україні воно втрачало свій бойовий потенціал, морально та фізично застарівало. У зв'язку з багаторічною фінансовою кризою в державі закупівля нових озброєнь не проводилась, виконувались тільки заходи з продовження термінів його експлуатації та можливої модернізації окремих зразків озброєння. Особливо гостро проблема забезпечення сучасними зразками озброєння постала з початком антитерористичної операції Збройних Сил у 2014 році. Суттєво зросла необхідність забезпечити високий рівень бойових спроможностей українського війська, оснащення їх сучасними та ефективними зразками озброєння. Постало завдання зміни підходів до системи державних оборонних закупівель, її ефективного функціонування та розвитку, оптимізації витрат бюджету. Міністерство оборони України (МОУ) та Збройні Сили України (ЗСУ) перейшли до концепції оборонного планування на основі спроможностей. Цей метод є основним у країнах-членах НАТО.

Поглиблення відносин Україна-НАТО призвело до початку реформування оборонної промисловості та закупівель, прийняттю Закону України «Про оборонні закупівлі» [1], відмови від Державного оборонного замовлення.

У 2020-2021 рр. закупівлі озброєння та військової техніки (ОВТ) для ЗСУ суттєво зменшились, державне оборонне замовлення було зірвано, державні кошти використані неефективно, що суттєво вплинуло на обороноздатність держави [2] на початку повномасштабного вторгнення росії.

З іншого боку, актуальність постійного удосконалення підходів та методів розв'язання проблемних питань воєнно-технічної політики та оборонного планування обумовлені зростаючим рівнем цифровізації

суспільства, стрімким розвитком інтернет-технологій, інформаційних технологій обробки даних. Механізми та методики прийняття рішень для ЗС у сфері закупівлі озброєнь недосконалі, недостатньо узгоджені з пріоритетами сектору безпеки і оборони, обсягами фінансових ресурсів, бюджетним процесом, про що свідчать проблемні питання, визначені у Стратегічному оборонному бюлетені України [3]. Ці задачі можуть бути формалізовані та розв'язані із застосуванням відомих математичних методів та моделей, що дасть змогу виключити вагомий суб'єктивний вплив особи, що приймає рішення.

Метою проведених досліджень є аналіз та розробка компонентів, алгоритмів функціонування, рекомендацій з побудові системи підтримки прийняття рішень (СППР) на основі методів багатокритеріальної оптимізації.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі часткові завдання:

а) дослідження і аналіз чинників, стримуючих побудову сучасних СППР, що дозволяють автоматизувати підготовку даних для прийняття управлінських рішень;

б) розробка компонентів СППР для сфери закупівлі озброєнь;

в) розробка алгоритмів функціонування інформаційно-аналітичної системи компонентів СППР;

г) розробка програмного забезпечення, що реалізовує запропоновані технології підтримки прийняття рішень.

Практичне значення отриманих результатів роботи полягає в тому, що застосування отриманих результатів дослідження дозволить:

– підвищити якість управлінських рішень, що приймаються, за рахунок підвищення їх обґрунтованості, своєчасності та несуперечливості;

– підвищити рівень ефективності використання бюджетних коштів, інформаційної взаємодії державних органів та учасників процесу закупівель озброєння.

Об'єкт дослідження – система оборонного планування та закупівель озброєння та військової техніки для ЗСУ.

Предмет дослідження – компоненти системи підтримки прийняття рішень у сфері закупівлі озброєнь та алгоритми її функціонування.

Результати дослідження доповідались на XX міжнародній науковій конференції ХНУПС ім. І.Кожедуба [4] та на 28-й Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті» ХНУРЕ [5].

## 1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

### 1.1 Аналіз нормативно-правового забезпечення системи державних оборонних закупівель

Закупівля сучасних зразків ОВТ є визначальним фактором забезпечення високих бойових спроможностей сил оборони країни та належить до сфери оборонних закупівель. Довгий час в Україні поняття «оборонні закупівлі» трактувалось по різному. Після прийняття Закону України «Про оборонні закупівлі» воно отримало кінцеве визначення. Зараз оборонні закупівлі призначені для повного забезпечення потреб безпеки і оборони та виконуються державним замовником шляхом закупівель озброєння та військової техніки, зброї та боєприпасів, товарів оборонного призначення тощо [1]. Отже, сфера закупівлі озброєння належить саме до оборонних закупівель. Реалізує державну політику у цій сфері Міністерство оборони України [6].

Державне оборонне замовлення (ДОЗ), від якого відмовилась Україна, було елементом планової радянської економіки, в якому держава і замовляла і постачала собі озброєння без будь-якої конкуренції, за необґрунтованими цінами, не зважаючи на потреби, якість та ефективність ОВТ. Оборонні закупівлі відбувались в умовах обмеженого громадського контролю та секретності.

До 2014 року та анексії Криму сусідня держава в оборонних стратегіях не розглядалась, як потенційний ворог, тому не передбачались оборонні закупівлі для протидії відповідним загрозам з її боку.

При розробці Закону «Про оборонні закупівлі» були залучені спеціалісти країн НАТО та враховані вимоги профільних недержавних громадських організацій, для забезпечення прозорості та ефективності процесу закупівель, відповідності системи стандартам НАТО. Закон почав діяти вже після початку повномасштабного вторгнення РФ.

У червні 2022 року для проведення закупівлі озброєння та військової техніки для ЗСУ створюється Агенція оборонних закупівель за постановою Кабінету Міністрів України [7]. Розробка механізмів її роботи, оцінка служби на відповідність стандартам НАТО, виконані із залученням фахівців Агенції НАТО з підтримки та закупівель, Великої Британії та Норвегії.

Організаційні та економічні механізми закупівлі озброєнь, які мають бути враховані при створенні системи підтримки прийняття рішень, закладені в нормативно-правових актах України, до яких належать:

- Закон України «Про національну безпеку України» [8];
- Закон України «Про оборону України» [9];
- Закон України «Про Збройні Сили України» [10];
- Закон України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» [11];
- Закон України «Про наукову і науково-технічну діяльність» [12];
- Закон України «Про державні цільові програми» [13];
- Бюджетний кодекс України [14];
- Постанова КМУ «Про затвердження Порядку розроблення та виконання державних цільових програм» [15];
- наказ МОУ «Про затвердження Положення про середньострокове та короткострокове оборонне планування в Міністерстві оборони України і Збройних Силах України» [16];
- Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України, затверджені Міністром оборони України [17].

Необхідно врахувати в подальшому дослідженні, що новий Закон України «Про оборонні закупівлі» вперше вводить у цю сферу такі поняття:

- коефіцієнт ефективності – зведений обрахований показник технічних та бойових спроможностей, надійності, стійкості, придатності до визначених бойових умов, системи озброєння, військової та іншої техніки;
- технічна специфікація – документ, що встановлює вимоги до якості, технічних характеристик, процедур оцінки відповідності та інші для систем

озброєння, які закупаються, та затверджується державним замовником.

Слід зазначити ще декілька документів, які впливають на створення системи підтримки прийняття рішень (СППР) у сфері закупівлі озброєнь та обумовили її можливості.

Постановою КМУ «Питання оборонних закупівель» [18] введено в обіг критерії найбільш економічно вигідної пропозиції учасника закупівлі товарів, робіт і послуг оборонного призначення та методики оцінювання пропозицій учасників закупівлі озброєнь та військової техніки. Розпорядження КМУ «Стратегія здійснення цифрового розвитку, цифрових трансформацій і цифровізації системи управління державними фінансами на період до 2025 року та затвердження плану заходів щодо її реалізації» [19] спрямовано на створення сучасних ІТ-рішень, інформаційних систем, впровадження яких дасть можливість оптимізувати операційні та управлінські процеси державного фінансового контролю, забезпечити їх чіткі багаторівневі заходи із здійснення контролю та систематичної оцінки ефективності діяльності, обґрунтовує основні принципи та підходи реалізації, побудову сучасної та ефективної системи управління інформаційними технологіями для забезпечення підтримки і подальшого цифрового розвитку ефективної та прозорої системи управління державними фінансами.

Розпорядження КМУ «Про схвалення Стратегії реформування системи публічних закупівель на 2024-2026 роки та затвердження операційного плану її реалізації у 2024-2025 роках» [20] передбачає створення зручних та ефективних електронних інструментів та сервісів в електронній системі закупівлі, що забезпечують оптимізацію в процесі закупівель, розширюють можливості щодо аналітики машинозчитуваних даних в електронній системі закупівель.

Отже, аналіз нормативно-правових актів України доводить, що тема магістерської роботи є актуальною та буде сприяти раціональному розв'язанню згаданих державних завдань у сфері закупівлі озброєнь.

## 1.2 Аналіз досвіду планування оборонних закупівель країн НАТО

Для забезпечення гнучкості процесу закупівель озброєння, реагування на економічні зміни, а також умови зовнішніх загроз безпеці, у країнах НАТО застосовуються циклічні програми закупівель. Довжина циклу може бути різною, в основному 2 роки. Якщо є умови до змін безпекової обстановки, то навіть на один рік.

Окреме місце займає Франція, в якій на законодавчому рівні затверджується програма оборонних закупівель на 6 років, що забезпечує певну стабільність та прогнозованість.

Незалежно від термінів оборонного планування, виконання оборонних програм постійно керується та контролюється з боку державних органів, органів цивільного демократичного контролю над збройними силами, забезпечуючи прозорість та звітність, своєчасне реагування на зміни.

У більшості країн НАТО процеси закупівель ОВТ можуть мати різні джерела фінансування та, відповідно, – контролю та управління. Єдиного органу, який керує процесами закупівель в НАТО немає.

Окремі системи озброєння (літаки, засоби протиповітряної оборони, бронетехніка, бойові кораблі тощо), а також озброєння та амуніцію особового складу члени Альянсу закупають за рахунок власних національних бюджетів, а використовують під егідою НАТО [21], оскільки сили та ресурси НАТО складаються з сил та ресурсів країн, що входять до альянсу. Кожна країна окремо виділяє фінансові ресурси, контролює їх витрати та керує процесами закупівлі власного ОВТ.

В той же час в НАТО існує система колективного фінансування. В межах колективного бюджету здійснюється закупівля товарів та послуг для забезпечення операцій, які проводяться силами Альянсу, обладнуються відповідні командні пункти та табори, створюється система стільникового та супутникового зв'язку, в тому числі – комп'ютерне та мережеве обладнання, програмне забезпечення тощо.

Необхідно виділити систему оборонного планування Болгарії, яка скористалась американським досвідом управління закупівлями [22] та впровадила систему Інтегрованого менеджменту оборонними ресурсами (IDRMS), що складається з трьох компонентів та базується на трьох принципах – планування, програмування та бюджетування (PPBS).

Основними компонентами системи є багаторічний план, відповідна програма закупівель, а також бюджет на один рік для Міністерства оборони країни. Плани та бюджет відповідають встановленим пріоритетам у сфері державної безпеки, розвитку збройних сил та фінансових обмежень.

Система IDRMS забезпечила прозорість та контрольованість державних закупівель у сфері оборони, обґрунтованість бюджетних витрат та актуальність програм закупівель сучасного озброєння. Функціонування цієї системи дозволило підвищити ефективність бюджетних витрат саме на актуальні та необхідні закупівлі озброєнь, зросла відповідальність посадових осіб-управлінців за виконання програм оборонних закупівель.

Одночасно в країні створено нову Систему управління військами (FMS), яка відповідно до вимог до бойових та інших спроможностей збройних сил визначає основні потреби до їх відновлення, підвищення або підтримки. Ці потреби задовольняє система Інтегрованого менеджменту (IDRMS), яка відповідає за закупівлі та розподіл фінансових ресурсів.

Така взаємодія забезпечила Болгарії високу ефективність державних витрат на закупівлю озброєнь та програми їх розвитку, прозорість та бар'єр для корупції.

Слід врахувати проблеми, які виникають під час її впровадження. До них належать проблеми координації завдань між Міністерством оборони та Міністерством фінансів. Під час планування закупівель озброєнь у МО і Генеральному штабі не проводиться аналіз зразків озброєння за критерієм «ефективність – вартість», не розглядаються альтернативи.

Цей досвід необхідно враховувати в нашій державі, оскільки від того, які зразки озброєння закує держава залежать спроможності сил оборони

України. На це звертають увагу фахівці Центру оборонних стратегій України у своїй доповіді [23]. Вкрай низька ефективність системи оборонних закупівель нашої держави у 2014 році призвела до значного зниження спроможностей українського війська та вагомих втрат з початку вторгнення росії до Криму, в бойових діях в Донецькій та Луганській областях. Цей негативний досвід свідчить про високий вплив ефективності системи закупівель озброєння та військової техніки на стан обороноздатності держави. Відсутність сучасних озброєнь та боєприпасів суттєво знижує бойовий потенціал збройних сил будь-якої держави.

Саме тому, закупівля озброєнь у країнах НАТО розглядається не тільки як господарська діяльність, але й частина оборонних спроможностей.

Система спроможностей НАТО складається з восьми компонентів DOTMLPFI (Doctrine – доктрина; Organization – організація; Training – тренування та освіта; Materiel – матеріальне забезпечення; Leadership – лідерство; Personnel – персонал; Facilities – інфраструктура; Interoperability – взаємосумісність) (рис 1.1).

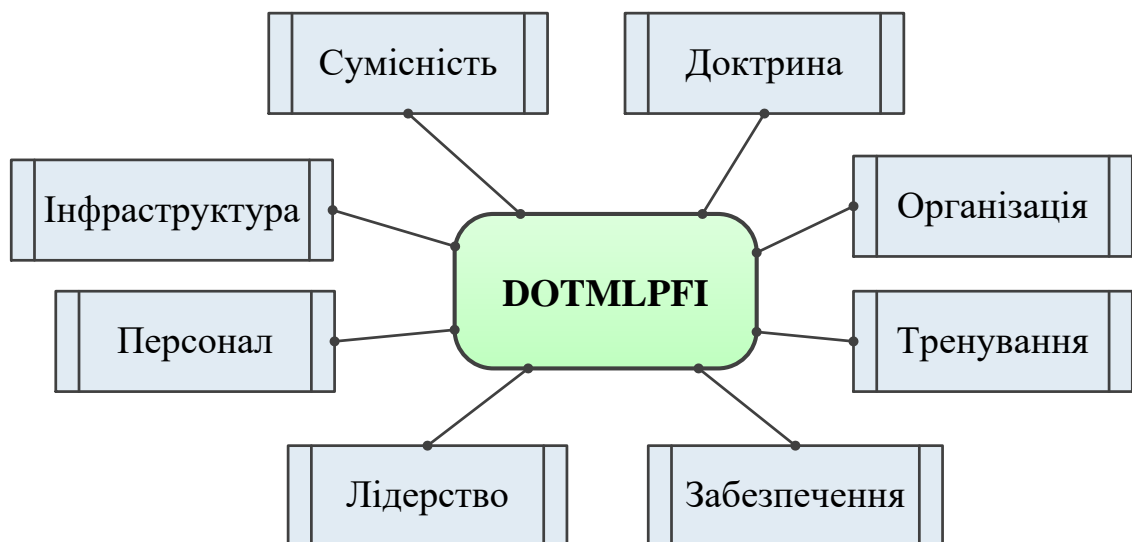


Рисунок 1.1 – Склад системи спроможностей НАТО (DOTMLPFI)

Такий склад системи забезпечує постійне удосконалення закупівельних процесів, їх подальшу оптимізацію. Вона має зрозумілу та досконалу

структуру, що відповідає потребам замовників та користувачів нею. Виконавці закупівель забезпечені відповідними засобами для ефективного керування процесом (інфраструктура) та високий рівень особистої кваліфікації. Завданням виконавців є постійне підвищення власної кваліфікації (тренування).

Всі закупівлі озброєнь виконуються цивільними фахівцями, з відповідним рівнем компетенцій, військовослужбовці до управління закупівлями не допускаються.

Хоча закупівлі ОВТ можуть відрізнятися в різних країнах НАТО за організацією та складом виконавців, система спроможностей повинна забезпечувати сумісність з усіма.

Отже, досвід країн НАТО свідчить, що ефективність процесів закупівель озброєнь та органів, що їх виконують, суттєво залежить від принципів організації та методів прийняття рішень про закупівлю тих чи інших зразків, ретельного та раціонального планування використання фінансових ресурсів, яке відповідає нагальним потребам військ, а також доступності, прозорості та відкритості для нагляду та контролю з боку суспільства та державних органів.

### 1.3 Особливості застосування систем підтримки прийняття рішень у військовій сфері

Системи підтримки прийняття рішень (DSS – Decision Support System) – це клас комп'ютеризованих інтерактивних інформаційних систем, які призначені допомогти особам, що приймають рішення (ОПР), використовувати комунікаційні технології, дані, документи, знання та/або моделі для виконання завдань процесу прийняття рішень. СППР виникли в результаті об'єднання інформаційних систем управління та систем управління БД, максимально пристосовані до розв'язання задач повсякденної управлінської діяльності [24].

Типовою інформацією, яку збирає та представляє СППР є доступ до усіх інформаційних активів, включаючи успадковані та реляційні джерела даних; значення даних, які порівнюються, прогнозовані значення на основі нових даних або припущень та наслідки різних альтернативних рішень, враховуючи минулий досвід у конкретному контексті.

Сутність СППР у військовій сфері полягає у тому, щоб допомогти військовим здійснювати керування, планування та прийняття рішень у різних аспектах бойових операцій, забезпечуючи швидку та ефективну обробку інформації військового призначення, а також підвищуючи точність і оперативність виконання завдань.

Починаючи з 80-х років минулого століття широке розповсюдження і застосування СППР знаходять в армії США. У 1996 р. створюється Глобальна система командування і контролю (GCCS – Global Command and Control System), яка стає основою глобальної системи управління, контролю, зв'язку, комп'ютерів та розвідки (C4I) майбутнього [25]. GCCS забезпечує взаємодію між силами, забезпечує загальну оперативну картину для підтримки ситуаційної обізнаності командирів. GCCS продовжує розвиток, для включення найсучасніших технологій та модулів, щоб надати користувачам інтегрований пакет в архітектурі клієнт-сервер. Зараз ця система забезпечує пошук по багатьох БД, стратегічне планування бойових дій, планування логістики та транспортування, відстеження та планування особового складу (персоналу). Вона містить інструменти планування та розподілу замовлень, планів кампаній та оперативних планів, забезпечує ОПР точними даними та автоматизує підтримку прийняття рішень для виконання багатьох задач.

GCCS використовує сумісні інтегровані системи C4I (Command, Control, Communications, Computers, and Intelligence) з можливістю обміну інформацією через мережу оборонних інформаційних систем. Ця СППР підтримує планування, розгортання, підтримку, використання і передислокацію об'єднаних військових сил по всьому світу. Основні функції

GCCS – підтримка функцій управління і контролю Національного командування, підтримка взаємодії між командуванням та Об'єднаним комітетом начальників штабів, іншими компонентами Національної системи військового командування, агентствами МО США. Вбудована автоматизована система обробки повідомлень забезпечує зв'язок та взаємодію з іншими урядовими органами, союзниками, тактичними користувачами та іншими затвердженими цивільними агентствами.

Дослідження розробки та впровадження комп'ютерних СППР для військових завдань проведено у звіті Collaborative Agent Design Research Center (CADRC) Каліфорнійського політехнічного державного університету [26]. Визначенні основні завдання, принципи побудови, архітектура, склад моделей та програмного забезпечення СППР для військових застосунків в тактичній, логістичній та адміністративній областях.

Важливою складовою військових операцій є СППР, які забезпечують збір, аналіз та інтерпретацію інформації для прийняття стратегічних, тактичних та оперативних рішень в сфері оборони. Серед таких необхідно виділити:

– AFATDS (Advanced Field Artillery Tactical Data System) – система для автоматизації керування артилерійським вогнем, включаючи визначення цілей, розрахунок стрільби, передавання координат та команд до артилерійських засобів;

– JADOCs (Joint Automated Deep Operations Coordination System) спрямована на координацію глибоких операцій у межах спільних військових сил;

– JTLS (Joint Theater Level Simulation) – інструмент моделювання, планування й аналізу військові операції в різних сценаріях;

– BMC2 (Battle Management Command and Control) – система призначена для керування бойовими операціями та командними функціями у реальному часі [27].

Останнім часом дослідження принципів та методів побудови СППР у військовій сфері знайшли широкого розвитку серед українських науковців, в тому числі – у сфері оборонного планування на основі спроможностей та закупівлі озброєнь [28-32]. Можливості використання онтологічного підходу при створенні системи підтримки прийняття рішень та включенні її до складу автоматизованої системи управління Сухопутних військ Збройних Сил України розглядається у [33]. Запропоновано моделі побудови бази знань та математичні моделі окремих задач, для розв'язування яких призначена система. Здійснено імітаційне моделювання функціонування системи, наведено відповідні приклади. Розроблений і включений модуль моделювання бойових дій механізованих і танкових підрозділів.

Можливості створення СППР для сил ППО країни, можливі підходи до автоматизації процесу прийняття рішення на основі розвідувальних відомостей, що поступають запропоновано у [34]. Рациональне рішення виробляється після аналізу реальних відомостей про стан сил супротивника і їх відповідної обробки шляхом порівняння з можливими ситуаціями в ході ведення бойових дій.

Проведений аналіз дозволив виділити основні особливості застосування СППР у військовій сфері, а саме:

- можуть бути використані на різних рівнях військового управління, в тому числі – для планування оборонної політики держави;
- дозволяють обробляти великі обсяги різноманітної інформації, що допомагає аналізувати ситуацію як на полі бою так і – в державі в цілому;
- можуть створювати віртуальні моделі бойових ситуацій та сценаріїв, що дозволяє керівному складу проводити тренування і тестування рішень без реальних втрат;
- забезпечують керівників ефективними моделями розподілу ресурсів (боєприпаси, техніка, особовий склад тощо), управління запасами, транспортуванням матеріальних ресурсів та забезпеченням військових підрозділів для досягнення тактичних, оперативних або стратегічних цілей;

- підвищують швидкість реагування на зміни умов бойової діяльності завдяки автоматизованій обробці великих обсягів даних;
- зменшення ризику помилок, що можуть виникнути через людський фактор або обмежений обсяг інформації в умовах невизначеності;
- підвищення якості прийнятих рішень через надання повної та об'єктивної інформації у складних та стресових ситуаціях.

Отже, використання СППР у військовій сфері може значно підвищити ефективність військових операцій, знизити ризик втрат та сприяти досягненню стратегічних цілей.

Під час створення та використання таких систем необхідно враховувати:

- залежність від високотехнологічного обладнання та програмного забезпечення, ризику збоїв техніки або кібератак, що може призвести до втрат доступу до важливої інформації;
- неспроможність передбачити всі сценарії та варіанти розвитку ситуації, навіть завдяки найкращим алгоритмам і моделям, що може призвести до виникнення помилок та неочікуваних потреб в оперативному корегуванні рішень;
- високі ризики інформаційної безпеки, оскільки використання СППР може стати об'єктом атак з боку ворожих сил або хакерів, що може призвести до витоку конфіденційної інформації або зміни рішень в несприятливий для військових цілей спосіб.

Необхідно зазначити, що проведений аналіз довів відсутність в Україні станом на теперішній час СППР у сфері закупівлі озброєнь, що визначає актуальність теми роботи.

#### 1.4 Постановка завдання на кваліфікаційну роботу

Проведений аналіз нормативно-правової бази, існуючих СППР у військовій сфері виявлено, що є значний досвід досліджень теорії та

методології створення систем підтримки прийняття рішень у військовій сфері, спрямований в основному на розв'язання завдань тактичного, оперативного або стратегічного характеру при веденні бойових дій, однак на сферу оборонного планування, закупівлі озброєнь, забезпечення озброєнням і військовою технікою (ОВТ) Збройних Сил держави він розповсюджений недостатньо. Органи державного та військового управління використовують в основному автономні (настільні) або корпоративні системи ППР власного або іноземного виробництва, які мають спеціалізований вузько-спрямований характер та не виконують завдань у сфері закупівлі озброєнь.

У зв'язку з цим актуальним залишається питання розробки СППР у сфері закупівлі озброєнь для органів державного та військового управління в умовах, які характеризують сучасний стан вітчизняного озброєння і військової техніки, обмежені фінансові ресурси держави, що виділяються на їх закупівлю та розвиток, а також збалансованого забезпечення різних видів Збройних Сил України з урахуванням програм їх розвитку.

Рішення щодо закупівлі певного зразка озброєння приймається на основі аналізу його характеристик, спроможностей, показників ефективності та фінансових обмежень. При цьому локальні характеристики систем ОВТ зазвичай є різномірними, вимірюються в різних шкалах та змінюються в різних інтервалах. Отже, задачі управління закупівлями озброєння та визначення раціональної номенклатури озброєнь для оснащення підрозділів і частин ЗС належать до класу задач оптимального управління та теорії прийняття рішень в умовах багатокритеріальності та невизначеності. Протиріччя між обмеженістю фінансових можливостей держави та зростаючими потребами ЗСУ пропонується розв'язувати з використанням сучасних інформаційних технологій та алгоритмів, які можна реалізувати в системах підтримки прийняття рішень. Це дозволить знизити суб'єктивні фактори та ризики для особи, що приймає рішення, забезпечити її обґрунтованими та об'єктивними пропозиціями.

Метою роботи є дослідження принципів побудови та методичного підходу до створення СППР у сфері закупівлі озброєнь та алгоритмів її функціонування для розв'язання завдання визначення оптимального варіанту забезпечення ЗСУ озброєнням та військовою технікою, раціонального розподілу фінансових ресурсів держави в інтересах розвитку оборонного планування, що підвищить ефективність управління державними ресурсами. Щоб досягнути мети кваліфікаційної роботи, визначені такі завдання для розв'язання:

- розробити функціональні вимоги до компонентів СППР у сфері закупівлі озброєнь;
- формалізувати та розробити алгоритми розв'язання задачі пошуку оптимального варіанту закупівлі певного виду озброєння;
- розробити програмне забезпечення для реалізації компонентів інформаційної СППР, яка використовує розроблені алгоритми;
- виконати дослідження працездатності системи та ефективності запропонованих алгоритмів її функціонування.

## 2 РОЗРОБКА ВИМОГ ДО КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА АЛГОРИТМІВ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ

### 2.1 Обґрунтування архітектури СППР у сфері закупівлі озброєнь

В багатьох дослідженнях загальна архітектура СППР достатньо обґрунтована [35-37]. Архітектура СППР може варіюватися залежно від конкретного застосування та потреб користувачів. Основні компоненти СППР можна узагальнити так:

Основні компоненти СППР включають (рис. 2.1):

а) базу даних СППР, яка містить інформацію з різноманітних джерел (внутрішні дані організації, дані будь-яких джерел спостереження, сенсорів, зовнішні дані з Інтернету тощо);

б) базу моделей СППР, яка складається з обраних математичних та аналітичних моделей аналізу даних для формування пропозицій рішення, залежно від потреб користувача та завдань системи. Метою створення моделей є опис та оптимізація об'єктів, процесів або рішень. Моделі, базуючись на математичній, аналітичній інтерпретації проблеми, за допомогою певних алгоритмів сприяють знаходженню інформації, корисної для прийняття правильних рішень;

в) систему управління базою даних (СУБД) як елемент створення, маніпулювання та використання баз даних, а також забезпечення їх безпеки, надійності та цілісності;

г) систему управління базою моделей (СУБМ) для вибору та використання користувачами для розрахунків необхідної моделі за рахунок вбудованих елементів управління програмним забезпеченням. Зі збільшенням масиву моделей в базі важливість цього елемента СППР значно зростає;

д) систему управління, інтерфейс користувача – для взаємодії між СППР та користувачами, керування базою моделей, подання результатів аналізу в різних форматах (текст, таблиці, діаграми тощо) за вимогою

користувача.

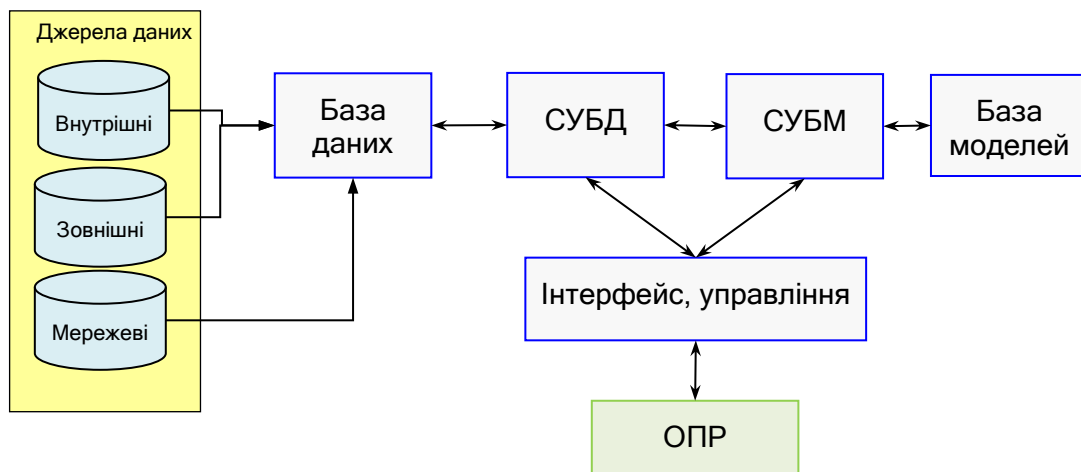


Рисунок 2.1 – Основні компоненти СППР

За архітектурою, така СППР може бути віднесена до орієнтованих на моделі (або керованих моделями) СППР Model-Driven DSS. Такі системи використовують різні моделі (наприклад, оптимізаційні) та аналітичні інструменти для забезпечення підтримки прийняття рішень. Керовані моделями СППР використовують дані та параметри, надані особами, які приймають рішення, щоб допомогти їм в аналізі ситуації, але вони зазвичай не потребують великої кількості даних, тобто дуже великі бази даних зазвичай не потрібні для таких систем.

Виходячи з проведеного аналізу, цілей створення системи, можна висунути системні вимоги до неї:

а) серверна частина має зберігати необхідну інформацію про озброєння та військову техніку у базі даних, здійснювати обробку даних та виконувати застосування обраної оптимізаційної моделі для розв'язання задач;

б) клієнтська частина надає можливість керувати даними (завантажувати нові з різних джерел, видаляти застарілі) та відобразити результати аналізу;

в) інтерфейс користувача має бути простим і зрозумілим, забезпечувати можливість ОПР вводити та виводити інформацію різними способами та у

різних форматах (текст, графіка, файл тощо);

г) система має забезпечувати відповідний рівень безпеки і секретності даних, у разі необхідності, надавати доступ до даних відповідно рівню, встановленому для певного користувача;

д) система повинна здійснювати передачу з сервера тільки тих даних, які потрібно відобразити для перегляду користувачу;

е) система має забезпечувати резервне копіювання даних у резервне сховище даних.

## 2.2 Визначення функціональних вимог до СППР у сфері закупівлі озброєнь

Визначення функціональних вимог до СППР виконано з використанням методології функціонального моделювання за стандартом IDEF0. Система, що моделюється, представляється у вигляді сукупності взаємопов'язаних функціональних блоків.

Контекстна діаграма основної функції СППР «Виробити пропозиції до рішення» подана на рисунку 2.2. Контекстна діаграма дозволяє розглянути систему у вигляді «чорного ящика» та визначити основні ввідні (Input – вводяться зліва) та вихідні (Output) дані, механізми (Mechanism – знизу) та сигнали управління або обмеження (Control – верхня частина) системи.

Дані, які вводяться в систему – це тактико-технічні та інші характеристики озброєнь і військової техніки, дані авторизації користувачів, а також можливі пріоритети показників ефективності озброєнь. Пріоритети показників ефективності можуть змінюватись відповідними користувачами-експертами за необхідності при використанні певних оптимізаційних моделей. В системі, що розробляється, процедура реєстрації проводиться сторонніми посадовими особами на основі відповідної форми допуску користувача і до користування системою допускаються вже авторизовані користувачі.

Управління здійснюється через нормативно-правові акти, які встановлюють відповідні обмеження на пропозиції до рішення, що розробляються, а також – форми допуску користувачів, які можуть обмежувати отримання даних про ОВТ.

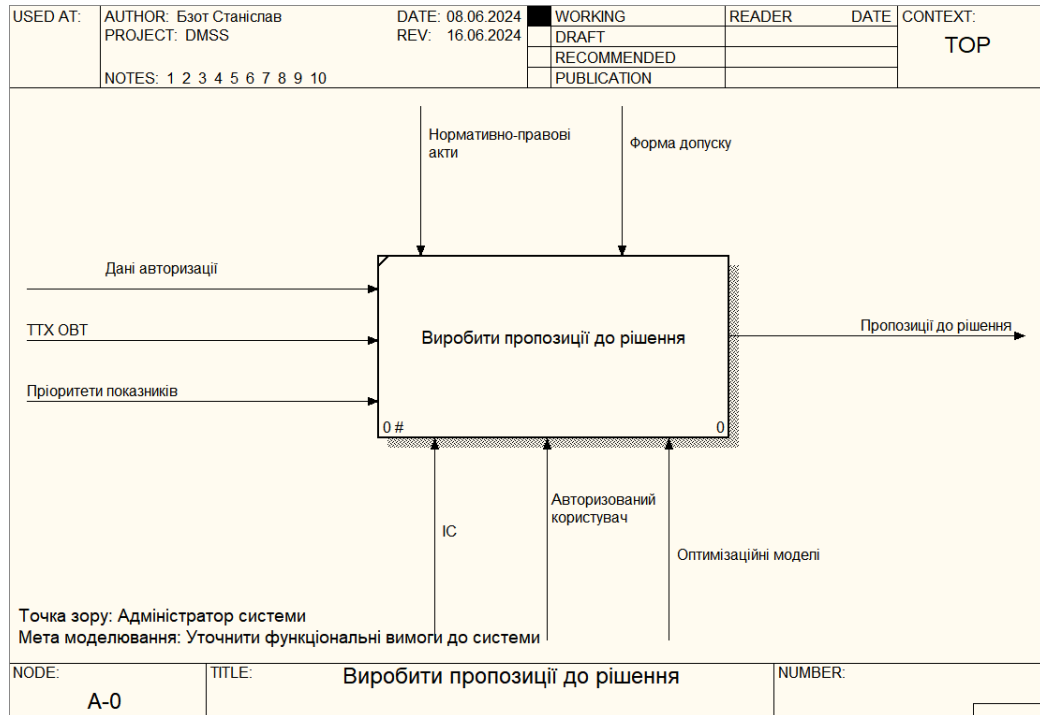


Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма СППР

Механізмами є безпосередньо сама інформаційна система ППР, авторизовані користувачі та оптимізаційні моделі, які будуть використовуватись.

Для подальшого з'ясування функцій системи виконано декомпозицію основної функції. Це дозволить представити основний процес у вигляді окремих складових функцій для подальшого їх аналізу. Глибину декомпозиції розробник визначає на власний розсуд [38]. Встановлено, що після введення характеристик та показників озброєння як вхідних даних для оптимізаційної моделі, виконується вироблення пропозицій для прийняття рішення ОПР, після чого вони виводяться користувачу в обраному зручному для подальшого аналізу вигляді (рис. 2.3).

Прийняття рішення завжди передбачає вибір одного з можливих варіантів дій. Такі можливі варіанти дій називають альтернативами. Створення списку альтернатив або обмежень, які виділять потенційно реалізовані альтернативи серед можливих, – невід’ємна частина формалізації проблеми прийняття рішень.

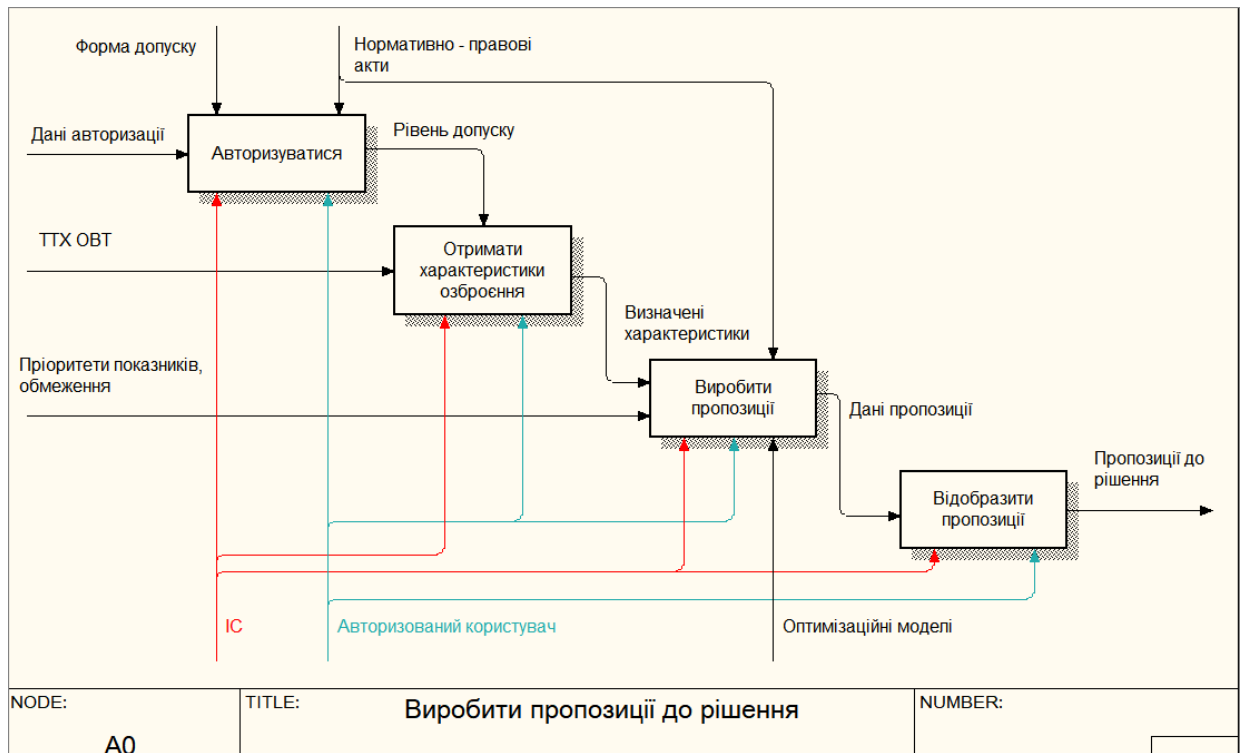


Рисунок 2.3 – Діаграма декомпозиції основної функції системи

Для наявності задачі вибору рішень необхідно мати хоча б дві альтернативи.

Зазвичай у процесі прийняття рішення виділяють такі етапи:

- а) збір необхідної інформації;
- б) встановлення вимог і обмежень;
- в) визначення варіантів рішення (альтернатив);
- г) вибір критерію оцінювання;
- д) розрахунок значення критерію оцінки для кожного варіанта рішення;
- е) визначення оптимального рішення (кращої альтернативи), яке відповідає екстремуму обраного критерію з урахуванням обмежень.

Критерії – це формалізовані правила, за якими здійснюється оцінювання та вибір оптимального рішення.

Вага (пріоритет) критерію визначає його відносну важливість серед сукупності інших критеріїв, виражене у числовій формі. Якщо вага критерію достатньо низька, він може бути виключений із сукупності для подальшої оцінки. Різні альтернативні рішення можуть бути впорядковані за зменшеннями значення обраного критерію для розгляду варіантів ОПР (рис. 2.4).

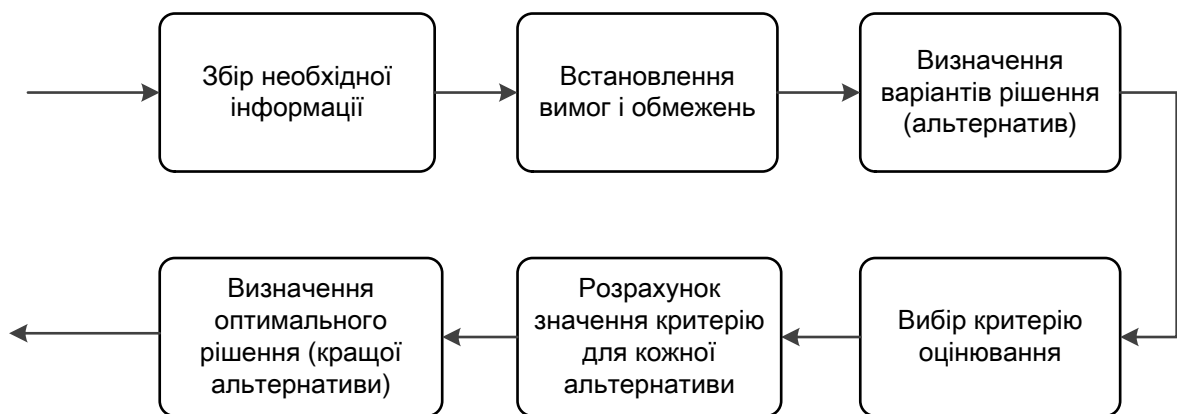


Рисунок 2.4 – Процес прийняття рішення

На підставі отриманих результатів вже ОПР приймає кінцеві рішення щодо розподілу ресурсів між конкретними проектами закупівлі озброєнь, визначення ефективності потенційних варіантів рішень, аналізу сценаріїв розвитку ситуації тощо.

Аналіз процесу прийняття рішення в СППР дозволив виконати декомпозицію блока «Виробити пропозиції» діаграми IDEF0 (рис. 2.5).

Після вибору ОПР характеристик (показників) для оцінки ОБТ, а також додаткових обмежень для оцінювання та встановлення пріоритетів показників, в разі необхідності, визначаються варіанти рішення – обираються зразки озброєння для порівняння та оцінювання. Для кожного зразка озброєння розраховуються значення обраного критерію оптимальності (в залежності від обраної оптимізаційної моделі), а потім – визначається

оптимальне рішення. Результати розрахунків подаються, як пропозиції до рішення, для відображення користувачу в обраному вигляді, враховуючи можливості інтерфейсу інформаційної системи. Це можуть бути таблиці з відображенням проранжованого списку альтернатив, одне оптимальне рішення, графіки, діаграми тощо.

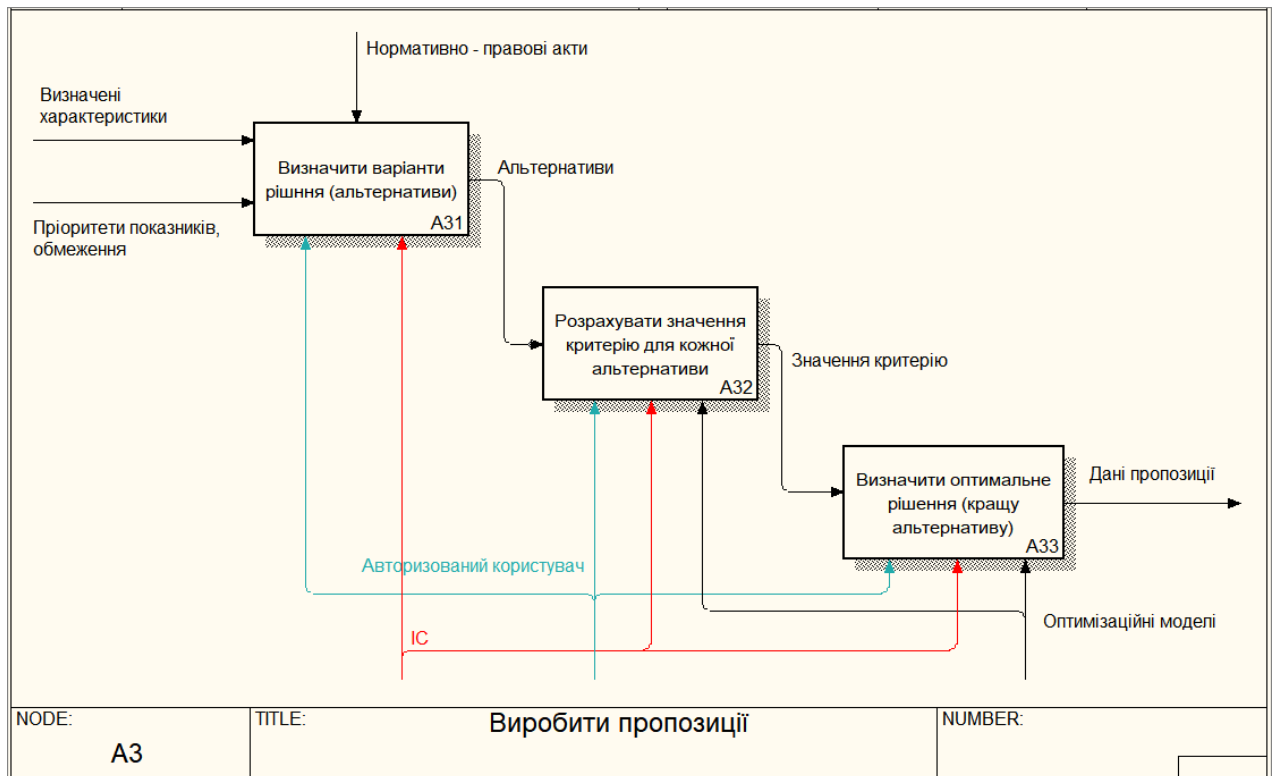


Рисунок 2.5 – Діаграма декомпозиції функції «Виробити пропозиції»

Проведене функціональне моделювання дозволило уточнити функціональні вимоги до СППР, що розробляється:

а) система має бути надійно захищеною, підтримувати високий ступінь безпеки даних і результатів роботи, отже – доступ до неї визначається під час авторизації користувачів;

б) система має забезпечувати виявлення переваг ОПР (виявлення і ранжування пріоритетів, врахування обмежень та невизначеностей);

в) система повинна генерувати можливі рішення (формування списку альтернатив);

г) система має забезпечувати оцінку можливих альтернатив, виходячи з обраної моделі оцінювання та обмежень;

д) система повинна забезпечити гнучкість звітів та презентацій згенерованих пропозицій до рішення згідно потреб користувача.

### 2.3 Визначення вимог до інтерфейсу клієнтської частини СППР

Клієнтська частина СППР реалізована у вигляді вебсторінок для глобальної мережі Інтернет. Користувач, як клієнт СППР, може виконати свої завдання тільки через надані інтерфейсом можливості. Інтерфейс повинен забезпечити доступ до необхідних команд і запитів, використання оптимізаційних моделей, даних, введення та виведення інформації у відповідній формі, збереження результатів розрахунків. Тому, загальна вимога до інтерфесів – це можливість користування системою без навчання або вивчення додаткових інструкцій [39].

Інтерфейс користувача має забезпечувати:

- легкість і зрозумілість керування всією відображуваною інформацією, можливість постійного контролю ситуації, пересування в межах СППР;

- простота введення даних без помилок;

- подання сигналу користувачу при помилковому введенні;

- збереження результатів виконаної роботи через визначені проміжки часу або переривах у роботі користувача з СППР;

- можливість відображення та виведення результатів у шаблонному або стандартизованому вигляді (наказ, довідка, пропозиція тощо);

- точність та ефективність процедур керування та супроводження БД;

- приймання зовнішніх даних через вбудовані засоби інформаційного зв'язку.

До сучасних інтефейсів інформаційних систем висувається вимога адаптованості, що передбачає [40]:

- сумісність з можливостями та бажаннями користувача;
- доступність всього функціоналу, простий перехід між функціями;
- забезпечення користувача підказками про можливі дії на будь-якому рівні, генерування відгуків на його запити;
- забезпечення можливості керування застосунком у відповідному операційному середовищі;
- вибір форми подання результатів в залежності від типу запиту або типу отриманих результатів;
- обмеження доступу до даних, функцій або результатів роботи відповідно до встановленого рівня допуску користувача.

Для з'ясування функцій, що мають бути забезпечені інтерфейсом користувача СППР розроблена діаграма варіантів використання (UseCase Diagramm). Варіант використання (прецедент) дозволяє з'ясувати необхідний в системі спосіб виклику будь-якої доступної функції (рис. 2.6). Варіанти використання визначає певну зовнішню вимогу користувача до системи.

Як зазначено вище, для підтримки безпеки даних використовувати систему можуть тільки авторизовані користувачі (Актор – Користувач). Для чого необхідно пройти процедуру авторизації.

Такий користувач може вводити і переглядати характеристики озброєнь в базі даних СППР, вводити додаткові обмеження та визначати пріоритети окремих показників озброєння (наприклад – дальність виявлення повітряних цілей зенітно-ракетним комплексом має бути не менше ніж 200 км, тому показнику – дальність виявлення цілей встановлюється підвищений пріоритет).

Для початку розрахунків мають бути обрані можливі альтернативи – тобто, зразки озброєння, які будуть включені для оцінювання. Також, в разі наявності багатьох оптимізаційних моделей, може бути обраний відповідний критерій оптимальності. Для отримання пропозицій виконується розрахунок оптимального рішення, альтернативи ранжуються, а користувач, як особа, що приймає рішення, може переглянути результати аналізу та зберегти їх за

необхідності

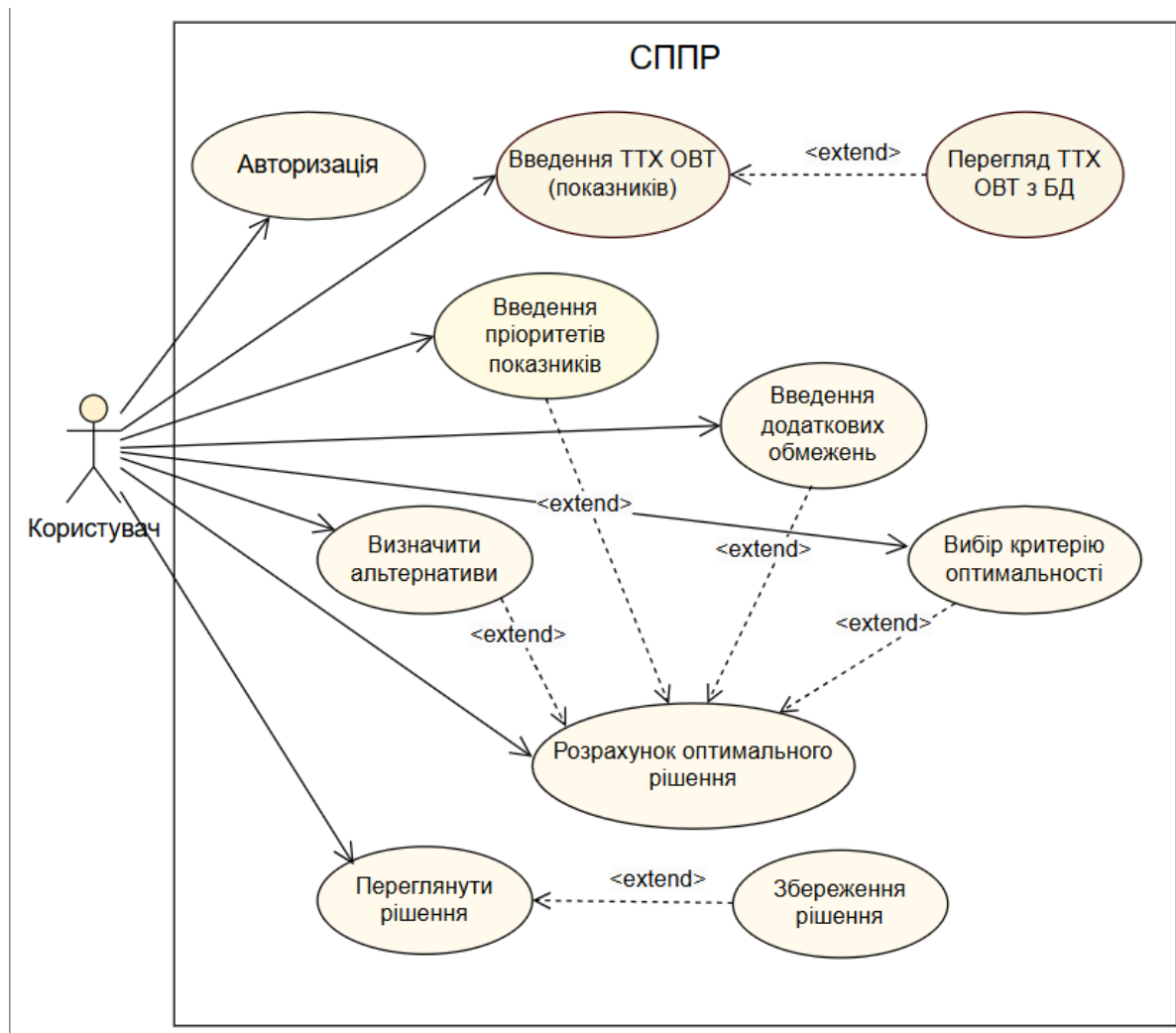


Рисунок 2.6 – Діаграма варіантів використання СППР

#### 2.4 Діаграма послідовності використання СППР

Для детального уявлення схеми взаємодії клієнтської частини програмного засобу із серверною розроблено діаграму послідовності для прецеденту «Розрахунок оптимального рішення» (рис. 2.7). Цей прецедент найбільш повно розкриває порядок взаємодії та є найважливішим.

Розробка діаграми послідовності дозволяє під час проектування:

- відобразити взаємодію між об'єктами системи у часі за допомогою обміну повідомлень або викликів методів;

- візуалізувати логіку роботи системи, послідовність дій в системі для виконання певного процесу;
- виконати аналіз варіантів використання, зрозуміти, як реалізуються варіанти використання системи, забезпечуючи повне розуміння процесів.

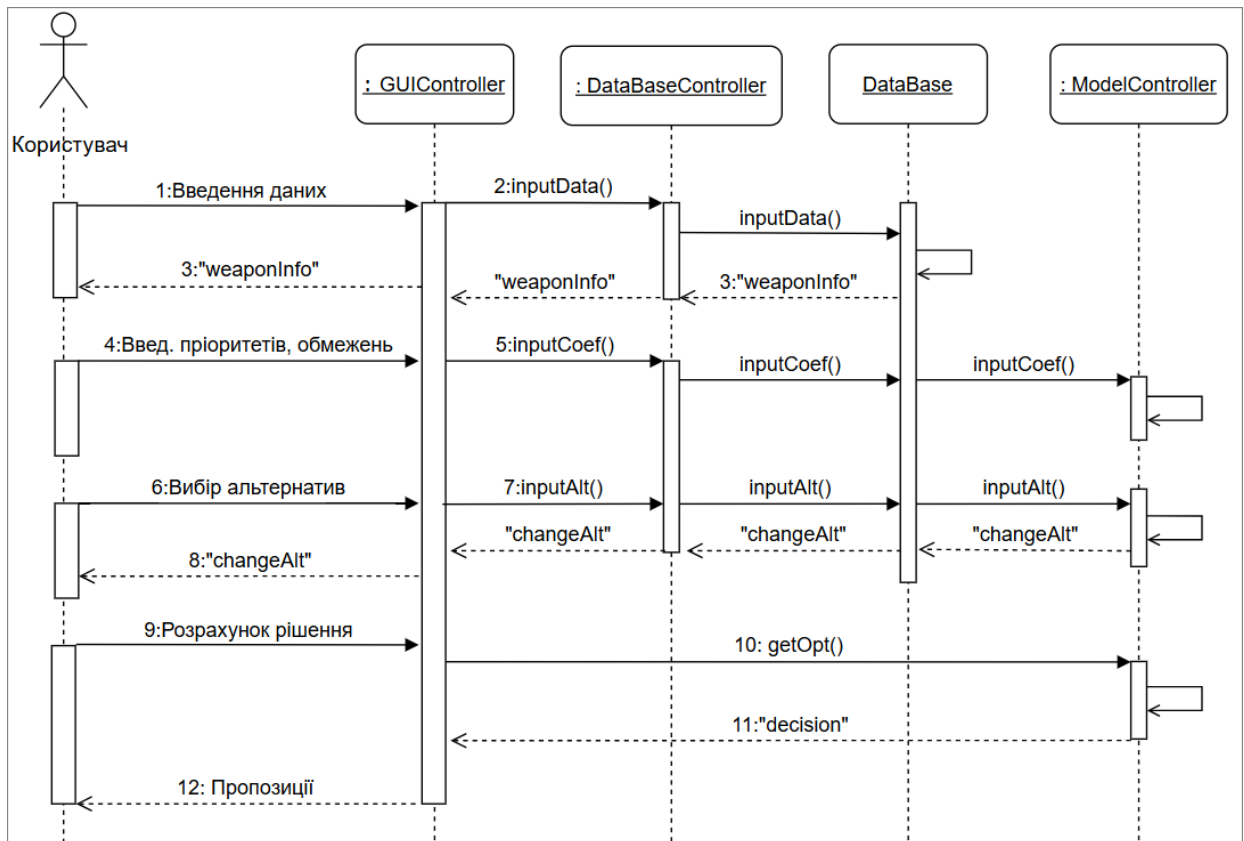


Рисунок 2.7 – Діаграма послідовності для прецеденту «Отримати оптимальне рішення»

Для отримання результатів роботи СППР користувач має бути авторизованим. Тому, всі подальші дії виконуються авторизованим користувачем. Всі процеси на стороні клієнта щодо доступу до сторінок вебзастосунку керуються контролером GUIController. Взаємодія з БД (DataBase) здійснюється через контролер DataBaseController. Функції застосування оптимізаційних моделей, підготовки альтернативних рішень, проведення розрахунків та генерування оптимального рішення, виведення його на сторінку вебзастосунку СППР керується контроллером ModelController.

Користувач може, за необхідності ввести необхідні дані за зразок озброєння в БД функцією `inputData()`. Під час введення він контролює відповідні дії, переглядаючи їх на сторінці застосунку. За необхідності, також можуть додатково уведені для моделювання обмеження та пріоритети показників до БД а також контролера `ModelController`, що забезпечується функцією `inputCoef()` та може враховуватись при розв'язанні оптимізаційної задачі. Так само, можуть бути вибрані не усі зразки озброєння для оптимізації, а обрані окремі, а також обрана оптимізаційна модель за рішенням ОПР, для чого викликається метод `inputAlt()`. Ця інформація також зберігається для проведення розрахунків контролером `ModelController`.

Розрахунок оптимального рішення ініціюється методом `getOpt()`, що призводить до розв'язання оптимізаційної задачі за обраним методом, а результати у вигляді пропозицій до рішення відображаються на відповідній сторінці, яку обирає `GUIController`. Він оновлює інтерфейс користувача для відображення повернутих результатів розрахунків.

## 2.5 Розробка алгоритмів функціонування СППР у сфері закупівлі озброєнь

Як було проаналізовано в 1 розділі, проблеми щодо закупівлі та оснащення ЗС України зразками озброєння є актуальними та виявлені давно. В основному вони стосуються:

- питань невизначеності номенклатури й кількості зразків озброєння, потрібних для оснащення ЗСУ;
- питань аналізу можливих джерел надходження ОВТ до ЗСУ;
- питань номенклатури та кількості ОВТ, які доцільно придбати в інших країнах світу [41].

Це обумовлено не тільки політичними, економічними та стратегічними питаннями. Кожен із зразків озброєння має певний перелік тактико-технічних характеристик, що визначають його бойові спроможності, які

можуть суттєво відрізнятись за величиною, одиницями виміру, бажаним значенням тощо (рис. 2.8).

Тактико-технічні характеристики	ЗРК1	ЗРК2	***	ЗРКп
Дальність виявлення цілей, км	30	32		28
Дальність ураження цілей, км	10	11		12
Висота ураження цілей, км	6	4		4
Швидкість цілі, м/с	400	550		500
Швидкість ЗКР, м/с	500	570		550
Імовірність ураження цілі	0,76	0,7		0,8
Вартість застосування, тис.грн	15,8	13,6		14,5
Вартість закупівлі	1 500	1 300		1 600

Рисунок 2.8 – ТТХ ЗРК як показники ефективності озброєння

Отже, ОПР постає перед складним завданням вибору серед альтернативних можливостей щодо закупівлі зразка озброєння – обрати такий, що найбільше відповідає встановленим вимогам та обмеженням, встановленим пріоритетам. Тому така задача належить до задач багатокритеріальної оптимізації та може бути розв’язана відомими методами.

Взагалі, прийняття такого рішення є вибором деякого варіанта із множини існуючих. Математична модель задачі прийняття рішень – це формальний опис складових її елементів (цілі, засоби, результати) та їхніх взаємозв’язків [42].

Нехай,  $X$  – це множина всіх можливих рішень. Кожне рішення є альтернативою  $x \in X$ , яка подається на розгляд ОПР;  $S$  – множина обмежень, що можуть бути накладені на альтернативу ззовні, а  $Z$  – це сукупність розв’язків задачі прийняття рішень.

Тоді, відображення  $\Phi$ , вигляду

$$\Phi: X \times S \rightarrow Z, \quad (2.1)$$

задає зв'язок між альтернативами  $X$  та наслідками  $Z$ .

Задача прийняття рішення складається у знаходженні такої альтернативи  $x \in X$ , що призводить до певного результату  $z \in Z$  при обмеженнях  $s \in S$ .

Якщо  $X$  та  $S$  – скінченні множини, то зв'язок між елементами задачі прийняття рішень можна подати у вигляді таблиці виграшів, платіжної матриці. Елементи матриці виграшів характеризують позитивний ефект або витрати  $f_z(x, s)$ , пов'язані з результатом  $z \in Z$ , що наступив при виборі альтернативи  $x \in X$  за умов  $s \in S$ .

Кількісною характеристикою ефективності кожної альтернативи  $x \in X$  є функція корисності  $E(x)$ , за значенням якої вибирається найкраще рішення  $x^* \in X$ , тобто

$$x^* = \arg \max_{x \in X} E(x), \quad (2.2)$$

а ефективність розв'язку  $x \in X$  визначається ступенем відповідності отриманого результату  $z \in Z$  поставленої цілі.

Результат вибору  $x^*$  є найкращим (оптимальним, ефективним) рішенням. Процес знаходження рішення  $x^* \in X$  є процесом прийняття рішень.

Вибір виду функції корисності  $E(x)$  залежить від класу задачі прийняття рішення та від умов, пріоритетів та обмежень ОПР, які виражають її переваги. Отже, узагальнена корисність є кількісною оцінкою переваги розв'язку.

Якщо критеріїв для оцінювання альтернативи декілька  $k_i(x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  їх необхідно об'єднати за певним правилом в єдиний критерій, який би враховував внесок у корисність всієї сукупності часткових критеріїв.

### 2.5.1 Метод та алгоритм ідеальної точки

Рішення щодо закупівлі зразка озброєння може прийматись ОПР в умовах, коли всі необхідні характеристики сукупності зразків відомі. Кожна визначена характеристика виступає як показник якості та задовольняє ОПР при набутті своїх екстремальних значень. Наприклад, при закупівлі ЗРК необхідно, щоб вони мали максимальну дальність ураження повітряних цілей, максимальну швидкість цілей, що можуть бути уражені та мінімальний час розгортання у бойове положення. Всі показники мають однаковий вплив на кінцеву ефективність. ОПР не має пріоритетів для жодного. В такому випадку доцільно застосовувати метод ідеальної точки розв'язання багатокритеріальної задачі.

Основна ідея методу ідеальної точки ґрунтується на тому, що передбачається існування «ідеальної точки»  $\hat{x} = (\hat{x}_1, \hat{x}_2, \dots, \hat{x}_n)$  для розв'язку задачі, у якій досягається екстремум всіх часткових критеріїв. Оскільки ідеальна точка, в абсолютній більшості випадків не знаходиться серед припустимих, виникає проблема знаходження точки, що «найближча» до ідеальної, і належить до множини допустимих рішень:

$$\hat{x}_i = \arg \underset{x \in X}{extr} k_i(x), \quad \hat{k}_i = \underset{x \in X}{extr} k_i(x), \quad \hat{k}_i = k_i(\hat{x}_i), \quad i \in J_n, \quad (2.3)$$

де  $n$  – кількість характеристик/показників зразка озброєння;

$k_i(x)$  – величина цього показника.

Отже, ідеальна точка надає екстремального значення всім частковим критеріям. Як зазначено, в більшості випадків ідеальна точка не належить множині альтернатив, тобто  $\hat{x} \notin X$ , а  $\hat{y} = (\hat{k}_1, \hat{k}_2, \dots, \hat{k}_n) \notin Y$ , де  $y = (k_1(x), k_2(x), \dots, k_n(x))$ . Як оптимальне рішення  $x^0$  слід вибрати точку з множини альтернатив, що є «найближчою» у вибраній метриці до ідеальної точки. Надалі необхідно визначити метрику, за допомогою якої можна було б виміряти віддаль до оптимальної точки. Як правило, вибирають Евклідову метрику якщо критерії мають зміст відстані чи інших фізичних величин, для

яких Евклідова метрика є змістовною [43].

Відстань від ідеальної точки розраховується як:

$$\rho(y, \hat{y}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i(x) - \hat{k}_i)^2}. \quad (2.4)$$

Оптимальне рішення  $x^0$  знайдено в результаті розв'язання задачі оптимізації

$$\rho(y, \hat{y}) \rightarrow \min_{x \in X}, x^0 \in \text{Arg min}_{x \in X} \rho(y, \hat{y}). \quad (2.5)$$

Очевидно, що для визначення координат ідеальної точки (ІТ) розв'язується  $n$  однокритеріальних задач за кожним з критеріїв оптимізації.

Такий підхід дозволяє сформувати кількісну оцінку всіх або частини обраних альтернатив  $x \in X$ , зробити їх ранжування та надати ОПР можливість обґрунтувати своє рішення. Процедура оцінки може здійснюватися й без участі ОПР, відкриваючи можливість автоматизації процесу прийняття рішень.

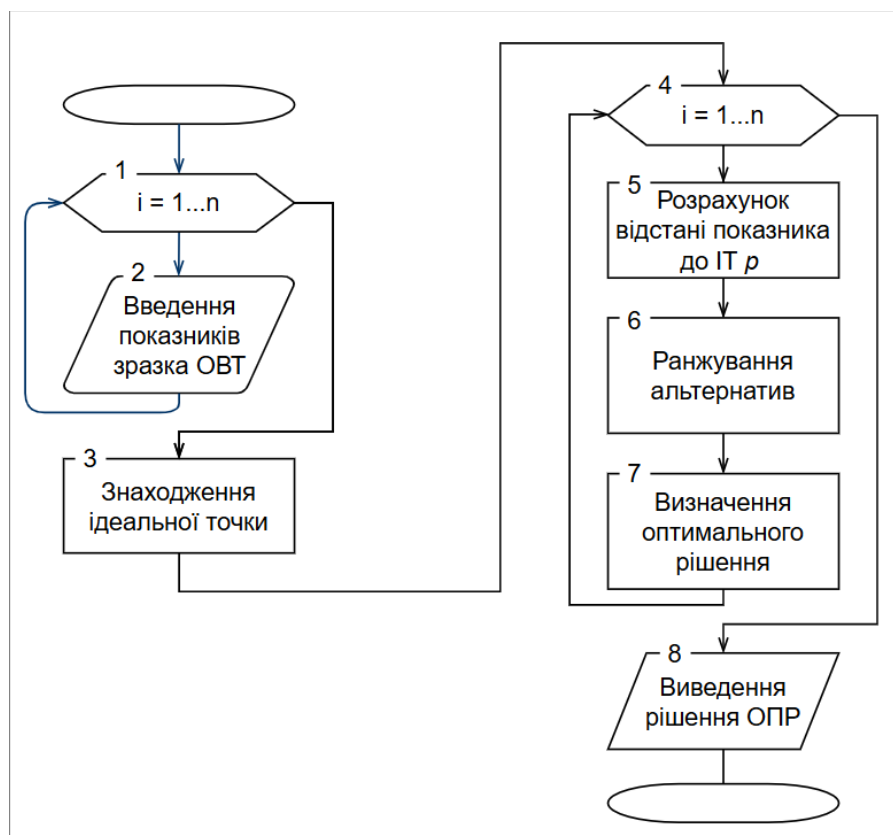


Рисунок 2.9 – Алгоритм знаходження оптимального рішення за методом ІТ

Для проведення розрахунків за методом ІТ розроблено алгоритм знаходження оптимального рішення (рис. 2.9). Основною особливістю алгоритму є те, що після введення (або зчитування з БД) основних показників зразка озброєння розраховуються «координати» ідеальної точки (блок 3), після чого для всіх часткових критеріїв розраховуються «відстані» від ідеальної точки (бл. 4,5), що дозволяє виконати ранжування альтернатив та визначення оптимального рішення (бл. 6,7).

### 2.5.2 Метод та алгоритм послідовної оптимізації

Під час процедури прийняття рішення може виникати ситуація, коли окремі характеристики/показники зразка озброєння можуть бути не рівнозначні, тобто мають різну «вагу» для ОПР. Узагальнена корисність будь-якого рішення  $x \in X$  визначається значеннями часткових критеріїв  $k_i(x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , що характеризують рішення. Це означає, що узагальнена корисність рішення  $x \in X$  може бути подана у вигляді адитивного критерію:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i \bar{k}_i(x), \quad (2.6)$$

де  $a_i$  – безрозмірні вагові коефіцієнти відносної важливості часткових критеріїв, для яких виконуються обмеження

$$0 \leq a_i \leq 1, \quad \sum_{i=1}^n a_i = 1, \quad (2.7)$$

а  $\bar{k}_i(x)$  – нормалізовані часткові критерії.

За адитивним критерієм коректність оцінки забезпечується тільки у випадку, якщо коефіцієнти  $a_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , ураховують не тільки важливість часткових критеріїв  $k_i(x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , але й приводять різнорідні критерії  $k_i(x)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , до єдиної розмірності і єдиного інтервалу вимірювання. Прикладом такого коефіцієнта є ціна, що дозволяє звести до вартісного вираження деякий набір різнорідних товарів.

Нормалізація часткових критеріїв означає, що вони зводяться до однакової розмірності та інтервалу можливих значень, а також стають інваріантними до виду екстремуму (максимум або мінімум).

За визначенням  $a_i$  – безрозмірні коефіцієнти, тому розмірність кожного часткового критерію  $\bar{k}_i(x)$  має збігатися з розмірністю  $P(x)$ , тобто  $\bar{k}_i(x)$  характеризує локальну корисність  $i$ -ї характеристики рішень  $x$ . Позначимо  $\bar{k}_i(x) = p_i(x)$ . Відповідно до цього (2.6) набуває вигляду [42]:

$$P(x) = \sum_{i=1}^n a_i p_i(x). \quad (2.8)$$

Модель оцінювання (2.8) справедлива тільки в тому випадку, якщо вагові коефіцієнти  $a_i$  часткових критеріїв  $k_i(x)$  задані точними кількісними значеннями. Носіями цієї інформації є ОПР, і, отже, необхідні деякі процедури її одержання.

Таку задачу розв'язано з використанням методу послідовної оптимізації. Задача багатокритеріальної оптимізаційної перетворюється на множину задач з одним критерієм оптимальності.

Всі часткові критерії впорядковуються відповідно до встановлених вагових коефіцієнтів у лінійному порядку за зменшенням важливості

$$k_1 \succ k_2 \succ \dots \succ k_n, \quad (2.9)$$

де  $\succ$  – символ встановлення порядку.

У визначеній послідовності (2.9) для кожного часткового критерію розв'язується оптимізаційна задача. Розв'язки порівнюються між собою. Відповідно до методу послідовної оптимізації із двох рішень  $u \in X$ ,  $v \in X$  кращим, тобто  $u \succ v$ , буде те, для якого

$$\begin{aligned} &k_1(u) \succ k_1(v) \text{ або} \\ &(k_1(u) \approx k_1(v)) \wedge (k_2(u) \succ k_2(v)) \text{ або} \\ &(k_1(u) \approx k_1(v)) \wedge (k_2(u) \approx k_2(v)) \wedge (k_3(u) \succ k_3(v)) \text{ і т.д.} \end{aligned} \quad (2.10)$$

Оптимальне рішення визначається через певну кількість кроків.

На першому кроці з вихідної множини допустимих рішень  $X$  виділяється підмножина  $X_1^0$  рішень, еквівалентних за першим (найбільш важливим) критерієм. Для цього розв'язується однокритеріальна оптимізаційна задача вигляду

$$X_1^0 = \text{Arg} \underset{x \in X}{\text{extr}} k_1(x). \quad (2.11)$$

Якщо множина  $X_1^0$  містить більше одного розв'язку, необхідно перейти до наступного кроку, тобто розв'язати задачу вибору еквівалентних рішень відносно другого за важливістю критерію, але вже із множини  $X_1^0$ :

$$X_2^0 = \text{Arg} \underset{x \in X_1^0}{\text{extr}} k_2(x). \quad (2.12)$$

У загальному випадку

$$X_i^0 = \text{Arg} \underset{x \in X_{i-1}^0}{\text{extr}} k_i(x), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (2.13)$$

де  $X_0^0 \equiv X$ .

Якщо всі часткові критерії «вичерпані» а єдиний розв'язок не знайдений, формуються додаткові критерії. Оптимізація триває, доки не буде знайдено єдине рішення.

Якщо вже на перших кроках оптимізації знайдено єдине рішення, тоді всі наступні часткові критерії не враховуються. У цьому випадку може бути застосований метод поступки, відповідно до якого ОПР призначає допустимий рівень зниження  $\Delta k_i(x)$  часткового критерію  $k_i(x)$  в порівнянні з його екстремальним значенням:

$$x_{i+1}^0 = \arg \underset{x \in X}{\text{extr}} k_{i+1}(x), \quad i = 1, 2, \dots, n-1, \quad (2.14)$$

за умови  $k_i(x) > k_i(x_i^0) - \Delta k_i(x)$ , якщо  $k_i(x)$  максимізується;  
 $k_i(x) < k_i(x_i^0) + \Delta k_i(x)$ , якщо  $k_i(x)$  мінімізується.

Для ранжирування всієї множини рішень  $X$ , отримане найкраще рішення виключається з розгляду, а на решті повторюється описана вище процедура. У результаті визначається друге за якістю рішення. І так далі, доки не будуть упорядковані всі рішення із множини  $X$ .

Отже, коли ОПР має інформацію про важливість часткових критеріїв застосовується метод послідовної оптимізації.

Для проведення розрахунків за методом послідовної оптимізації також розроблено алгоритм знаходження оптимального рішення (рис. 2.10). Особливістю алгоритму є те, що після введення ОПР вагових коефіцієнтів показників зразка озброєння (бл. 2) виконується ранжування часткових критеріїв (бл. 3). Надалі після чого для всіх часткових критеріїв виконуються послідовні кроки аналізу отриманих варіантів розв'язків за іншими критеріями, відповідно до їх рангу (бл. 4-7), доки не буде знайдено єдине оптимальне рішення. що дозволяє виконати ранжування альтернатив та визначення оптимального рішення (бл. 6,7).

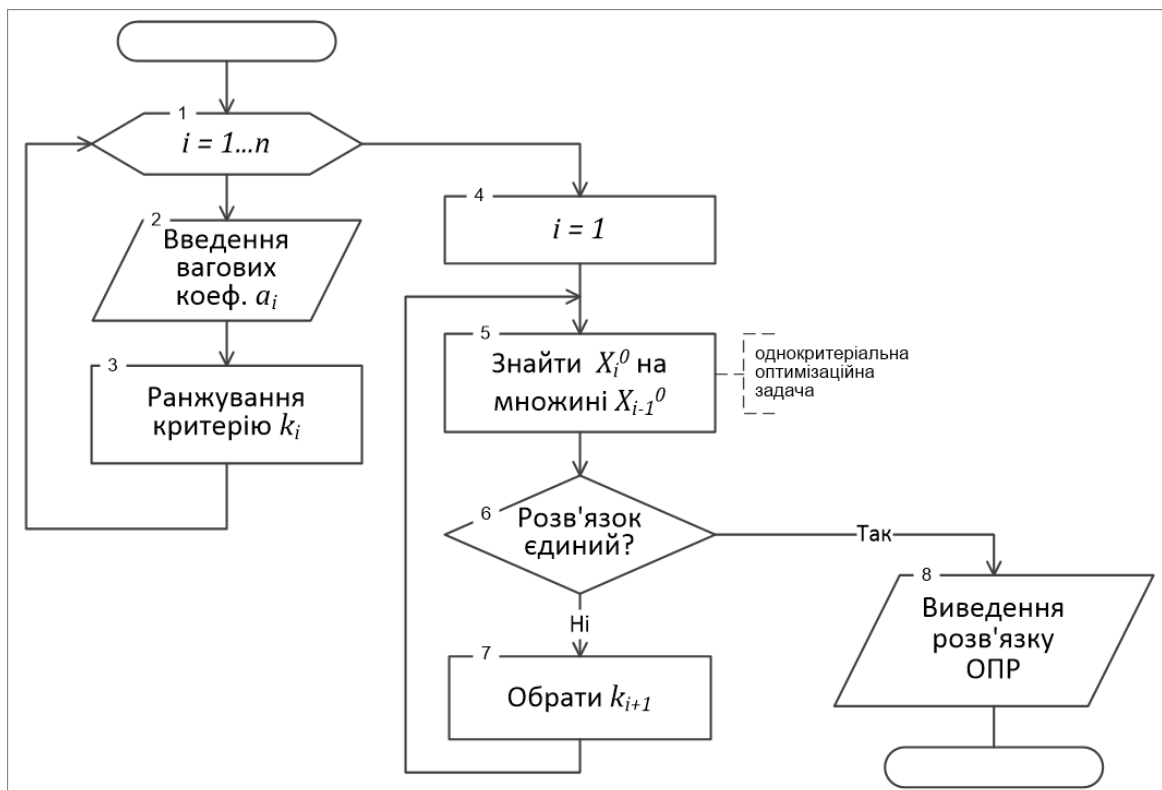


Рисунок 2.10 – Алгоритм знаходження оптимального рішення за методом послідовної оптимізації

Результат пошуку оптимального рішення надається ОПР на відповідній сторінці інтерфейсу вебзастосунку як пропозиція до проекту рішення.

Отже, за результатами проведеного функціонального та об'єктно-орієнтованого моделювання з'ясовано архітектуру СППР у сфері закупівлі озброєнь, уточнено функціональні вимоги до неї, а також вимоги до інтерфейсу клієнтської частини системи.

Обрані математичні методи, які дозволяють автоматизувати процеси пошуку та генерації пропозицій до рішення ОПР, засновані на методах багатокритеріальної оптимізації. Розглянуто дві ситуації їх застосування:

– всі часткові критерії на погляд ОПР мають однакову вагу (рівноправні);

– ОПР має власні погляди на пріоритети часткових критеріїв, та може визначити їх вагу для побудови узагальненого критеріїв оптимальності.

Розроблено алгоритми реалізації відповідних математичних моделей для застосування на серверній частині застосунку.

На основі цих результатів виконано подальше проектування та розробка компонентів СППР у сфері закупівлі озброєнь та проведено дослідження ефективності їх використання.

### 3 РОЗРОБКА КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У СФЕРІ ЗАКУПІВЛІ ОЗБРОЄНЬ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Вибір інструментів та визначення персоналізованої архітектури проекту дозволить розробити інформаційну систему, що відповідає вимогам до її постійної подальшої підтримки у працездатному стані, підтримки її масштабованості та гнучкості, зменшення навантаження під час тестування. Вибір відповідних інструментів розробки дозволить створити ефективну і надійну систему, що забезпечить задоволеність усіх користувачів із можливістю розширення функціоналу в майбутньому.

#### 3.1 Архітектура інформаційної системи СППР

Діяльність суб'єктів оборонного планування, сфери закупівлі озброєнь може проводитись в різних державних і військових органах управління, які не пов'язані між собою територіально або за підпорядкуванням. В той же час вони мають проводити спільну політику та приймати обґрунтовані рішення, які стосуються всіх суб'єктів та мають враховувати думки та пропозиції всіх учасників процесу. Найшвидшими каналами зв'язку сьогодні виступають інтернет-мережі. Тому, інформаційну систему розроблено, як вебзастосунок, що дозволить використовувати її з будь-якого місця нашої держави.

Вебзастосунок розроблено за трирівневою клієнт-серверною архітектурою, яка забезпечує високу продуктивність та безпеку даних (рис. 3.1).

Така архітектура вебзастосунку забезпечує користувачам доступ до функцій СППР через будь-який браузер. Через браузер користувач переглядає сторінки розробленої системи, отримує доступ до сторінок введення-виведення даних, генерування пропозицій до рішення, налаштування конфігурації СППР тощо.

Вебсервер обробляє запити користувачів та направляє їх потрібному

компоненту, доставляє динамічний контент в браузер, керує всіма операціями застосунку, виконує оптимізаційні моделі тощо. Це – головний компонент системи. У якості вебсерверу обрано сервер NginX, який забезпечує вбудовані механізми захисту інформації, простоту та гнучкість налаштувань, відмінну обробку сайтів, на яких міститься статичний контент.

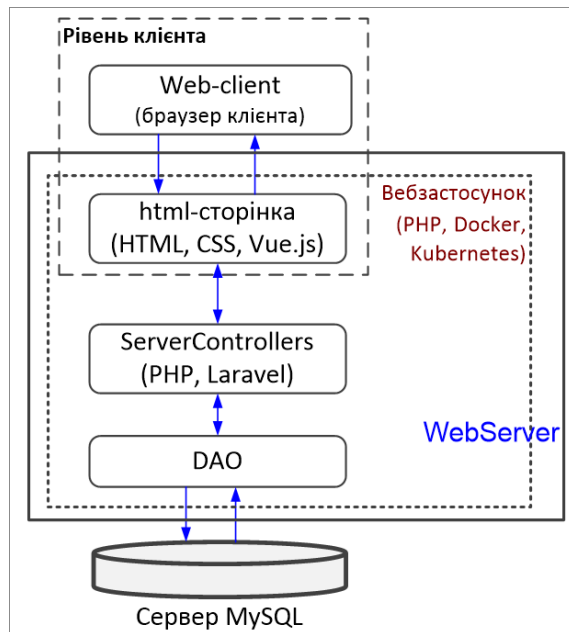


Рисунок 3.1 – Архітектура вебзастосунку

База даних вебзастосунку зберігає всю необхідну для функціонування інформацію, забезпечує керування доступом до неї. У якості бази даних використано СУБД MySQL.

### 3.2 Обґрунтування технології створення компонентів СППР у сфері закупівлі озброєнь

Для розробки і реалізації компонентів СППР необхідно обрати мови програмування і засоби автоматизації процесів розробки.

Для розробки вебплатформи обрано технології фреймворку Laravel на мові програмування PHP для серверної розробки з використанням фреймворку Vue.js, мов HTML, CSS для клієнтської частини із технологією контейнеризації Docker та подальшим використанням Kubernetes.

Фреймворк Vue.js, який працює на JavaScript, створений для розробки користувацьких інтерфейсів. Він працює на базі звичайного HTML, CSS та JavaScript, з можливостями декларативного програмування користувацьких інтерфейсів будь-якої складності на основі компонентів [44]. Vue.js володіє розгорнутим набором інструментів для розробки програм для задоволення потреб програміста у створенні інтерфесу, має можливості інтеграції легкої інтеграції з іншим програмним забезпеченням.

HTML (HyperText Markup Language) – базова мова веброботки, яка використовується для структурування та відображення сторінок сайтів, а також усього розташованого на них контенту. Має метод HyperText, за допомогою якого здійснюється переміщення по мережі.

CSS (Cascading Style Sheets) – каскадні таблиці стилів – популярна мова таблиць стилів, яка забезпечує опис зовнішнього вигляду HTML-сторінок, Використовується для опису правил оформлення вебдокументів, як шаблонів для централізованого управління зовнішнім виглядом стоінок сайту.

PHP – це скриптова мова програмування, яка може бути вбудована у HTML-код. Ситаксичні конструкції успадкований від Perl та C. Спеціально створена для веброботників для легкого створення динамічно генерованих вебсторінок. Серед аргументів на користь вибору цієї мови для розробки, слід зазначити наявність драйверів для підключення до майже всіх баз даних, наявність бібліотек для використання СУБД MySQL, mSQL, Oracle тощо, а також технічні переваги – високу продуктивність та функціональність посилань.

Laravel – це PHP-фреймворк, який надає набір інструментів та шаблонів, спрямованих на полегшення створення сайту та прискорення його подальшої роботи. Laravel відрізняється простим і зрозумілим кодом, що в рази полегшує процес створення сайту будь-якої складності. Перевагою є наявність декількох варіантів доступу до багатьох СУБД. Станом на 2024 рік це один з найпоширеніших фреймворків серед існуючих. Фреймворк Laravel має відкритий код, а також спеціально налаштований на розробку

вебзастосунків за шаблоном Model-View-Controller (MVC) [45].

Для забезпечення автоматизації розгортання та керування програмами в середовищах з підтримкою контейнеризації використано Docker. Завдяки підтримці контейнеризації Docker дозволяє розробляти та виконувати програми в ізольованих середовищах – контейнерах. В контейнерах розташовуються програми, які можуть працювати на будь-якій машині з встановленою платформою.

Docker має низку переваг перед іншими способами розгортання застосунків (наприклад, віртуальними машинами). Контейнери набагато легші за віртуальні машини, тому вони використовують менше ресурсів і швидше запускаються. Контейнери також легше переносити [46].

Для автоматизації розгортання, масштабування та управління контейнеризованими застосунками використано програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом Kubernetes. Ця платформа дозволяє керувати робочими навантаженнями та супутніми службами. Її основні характеристики – кросплатформність, можливості до розширення та автоматизоване декларативне конфігурування.

Для розробки вебзастосунку інформаційної системи використано популярний паттерн MVC (Model-View-Controller). є однією з найпопулярніших архітектурних парадигм у розробці програмного забезпечення, особливо для вебзастосунків. Використання цього патерну забезпечує ряд значних переваг, які можуть бути критично важливими для успішної реалізації вашої платформи.

Основні компоненти патерну MVC:

а) Model (Модель) – представляє бізнес-логіку та дані, відповідає за управління даними, взаємодію з БД;

б) View (Представлення) забезпечує відображення даних користувачу. Приймає дані від Контроллера і виводить їх у зручному для користувача форматі;

в) Controller (Контроллер) – обробляє користувацький ввід, взаємодіє з Моделлю для отримання або зміни даних, визначає, яке Представлення використувати для відображення даних (рис. 3.2).

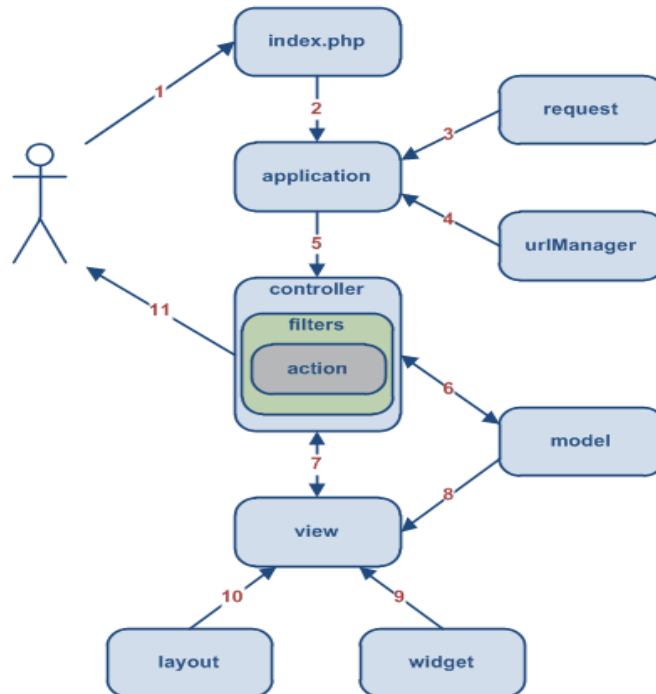


Рисунок 3.2 – Схема паттерну MVC

Переваги використання паттерну MVC:

- чітке розділення завдань між компонентами (Модель, Представлення, Контролер) спрощує розробку, тестування та обслуговування програми;
- зменшує залежності між компонентами, що дозволяє працювати над кожною частиною окремо;
- програмісти можуть легко знаходити та виправляти помилки або додавати новий функціонал, не порушуючи роботу інших частин системи;
- дозволяє масштабувати додаток, оскільки компоненти не тісно пов'язані між собою, незалежно розвивати та розширювати окремі модулі;
- компоненти Моделі та Представлення можуть бути використані повторно в інших проектах;

– полегшує створення нових Представлень для тих самих даних (наприклад, мобільні додатки та вебінтерфейси можуть використовувати одну Модель).

– розробники можуть одночасно паралельно працювати над Моделлю, Представленням і Контроллером, що прискорює процес розробки;

– окреме тестування кожного компонента забезпечує високу якість коду, оскільки Моделі можна тестувати без потреби в інтерфейсі користувача, а Представлення можна перевіряти без доступу до бізнес-логіки.

Ці переваги забезпечують структурований, зрозумілий та ефективний процес розробки, що сприяє створенню надійної та масштабованої платформи.

Використання зазначених технологій при створенні вебзастосунку СППР у сфері закупівлі озброєнь відповідає останнім тенденціям в розробці високонавантажених, захищених комплексних інформаційних систем та задовольняє висунутим системним вимогам.

### 3.3 Реалізація бази даних СППР у сфері закупівлі озброєнь

Для реалізації БД СППР обрано СУБД MySQL, що має кілька важливих переваг:

а) висока продуктивність MySQL, здатністю ефективно обробляти великі обсяги даних, швидко виконувати запити і підтримувати високу швидкість транзакцій, що є важливим для платформ з великим навантаженням;

б) підтримує горизонтальне масштабування, що дозволяє легко збільшувати продуктивність системи шляхом додавання нових серверів;

в) забезпечує високу надійність і стабільність роботи, має механізми відновлення після збоїв, що дозволяє мінімізувати ризик втрати даних та забезпечити безперервність роботи платформи;

г) пропонує широкий спектр інструментів для підтримання безпеки даних, включаючи шифрування, управління доступом та аутентифікацію

користувачів. Це дозволяє забезпечити захист даних користувачів та відповідати вимогам безпеки;

д) MySQL є СУБД з відкритим кодом, що означає відсутність витрат на ліцензування та можливість кастомізації під конкретні потреби вашої платформи, також має велику спільноту користувачів та розробників, що забезпечує наявність численних ресурсів, документації та підтримки;

е) висока сумісність та інтеграція з широким спектром операційних систем, з іншими програмними продуктами та технологіями, такими як вебсервера, фреймворки та мови програмування. Це дозволяє безпроблемно впроваджувати її у вашу існуючу інфраструктуру;

ж) підтримка реплікації та кластеризації надає можливості для реплікації даних та побудови кластерів, що дозволяє підвищити доступність та відмовостійкість системи, забезпечує безперебійну роботу платформи та мінімізації простоїв.

Отже MySQL обрано для системи завдяки своїй високій продуктивності, масштабованості, надійності, безпеці, відкритому коду, сумісності та підтримці реплікації та кластеризації. Ці характеристики роблять її раціональним рішенням для створення надійної, швидкої та масштабованої системи, що відповідає поставленим вимогам.

За результатами аналізу визначено вимоги до складу інформації (сутностей, атрибутів сутностей), що мають зберігатися в БД СППР. Проведено моделювання та розроблена база даних СППР у сфері закупівлі озброєнь. ER-модель бази даних (рис. 3.3).

Сутності, визначені як основні – «озброєння», «категорії», «характеристики категорії».

Сутність «Озброєння» містить опис характеристик певного зразка озброєння, а саме його назва, фото, унікальні параметри тощо. Вона виконує роль словника озброєнь, на основі якого формуються пропозиції до рішення ОПР. Характеристики розглядаються як значення відповідних показників під час розв'язання задач оптимізації. Ця сутність пов'язана з сутностями

«Категорії» та «Характеристики категорії» зв'язками один до одного, оскільки характеристики озброєння можуть бути структуровані.

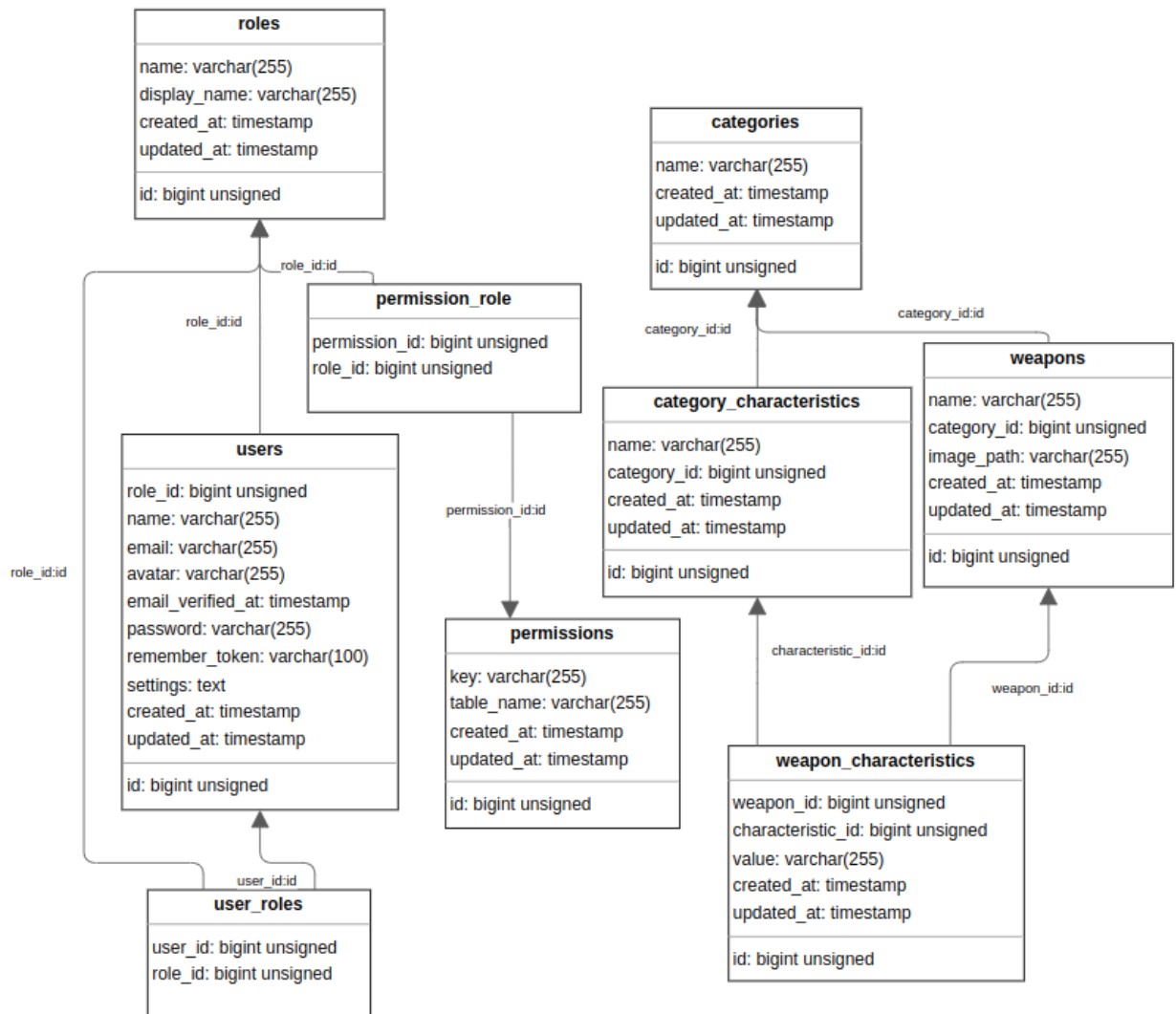


Рисунок 3.3 – ERR-модель даних СУБД MySQL

Сутності «Категорії» та «Характеристики категорії» є таблицями для утворення зв'язку багато до багатьох. Сутність «Характеристики категорії» зберігає інформацію про параметри категорій, які ми описуємо в системі.

Сутність «Користувачі» зберігає інформацію про користувачів системи та має зв'язок із сутністю «Ролі користувачі», де міститься рівень доступу користувача в системі.

Сутності БД та їх атрибути подано у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Сутності моделі даних СППР та їх характеристика

№	Сутність (таблиця)	Атрибути	Тип даних	Призначення
1	Users (Користувачі)	id	bigint unsigned (Лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор користувача створюється автоматично, для унікальності кожного
		name	varchar (Текст, 50 симв.)	Ім'я користувача, створюється користувачем
		avatar	varchar (файл)	Фото, завантажується користувачем
		password	varchar (Текст, довжиною 32 символи)	Пароль – текстове поле, зберігається у хешованому вигляді, створюється користувачем, для авторизації
		email	varchar (Текст, 50 символів)	Електронна адреса, створюється користувачем, для авторизації
		created_at	timestamp (дата та час)	Дата створення, заповнюється системою в момент створення користувача
		updated_at	timestamp (дата та час)	Дата оновлення, заповнюється системою в момент оновлення користувача
		RoleID	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Роль, значення відповідної ролі користувача
2	Roles (Ролі користувача )	name	varchar (Текст, 50 симв.)	Ідентифікатор профілю, назва ролей користувачів
		display_name	varchar (Текст, 50 симв.)	Ідентифікатор користувача, назва ролі користувачів
		created_at	timestamp (дата та час)	Дата створення, заповнюється системою в момент створення ролі користувача
		updated_at	timestamp (дата та час)	Дата оновлення, заповнюється системою в момент оновлення ролі користувача
		id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожної ролі користувача
3	Категорії (categories)	name	varchar (Текст, 32 симв.)	Назва категорії
		created_at	timestamp (дата та час)	Дата створення, заповнюється системою в момент створення категорії
		updated_at	timestamp (дата та час)	Дата оновлення, заповнюється системою в момент оновлення категорії
		id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожної категорії

Таблиця 3.1 – Продовження

№	Сутність (таблиця)	Атрибути	Тип даних	Призначення
4	Озброєння (weapons)	name	varchar (Текст, 32 с.)	Назва озброєння, назва озброєння
		category_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор категорії озброєння
		image_path	varchar (фото)	Фото, завантажується користувачем
		created_at	timestamp (дата та час)	Дата створення, заповнюється системою в момент створення категорії
		updated_at	timestamp (дата та час)	Дата оновлення, заповнюється системою в момент оновлення озброєння
		id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожного озброєння
5	Характеристики озброєння (weapon_characteristics)	weapon_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор озброєння
		characteristic_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор характеристики озброєння
		value	varchar (Текст, 255 симв.)	Значення характеристики
		created_at	timestamp (дата та час)	Дата створення, заповнюється системою в момент оновлення характеристики
		updated_at	timestamp (дата та час)	Дата оновлення, заповнюється системою в момент оновлення характеристики
		id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожної характеристики
6	Характеристики категорій (category_characteristics)	name	varchar (Текст, 50 символів)	Назва категорії характеристики
		category_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор категорії
		created_at	timestamp (дата та час)	Дата створення, заповнюється системою в момент створення категорії характеристики
		updated_at	timestamp (дата та час)	Дата оновлення, заповнюється системою в момент оновлення категорії характеристики
		id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожної категорії характеристики

Таблиця 3.1 – Продовження

№	Сутність (таблиця)	Атрибути	Тип даних	Призначення
7	Доступи (permissions)	key	varchar (Текст, 255 символів)	ідентифікатор групи доступів
		table_name	varchar (Текст, 255 символів)	Назва групи
		created_at	timestamp (дата та час)	Дата створення, заповнюється системою в момент створення групи доступів
		updated_at	timestamp (дата та час)	Дата оновлення, заповнюється системою в момент оновлення групи доступів
		id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожної групи доступів
8	permission role	permission_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор для унікальності кожної ролі групи доступів
		role_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожної ролі групи доступів
9	Рівень доступу (user_roles)	user_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор ролі користувача
		role_id	bigint unsigned (лічильник, довге ціле)	Ідентифікатор, створюється автоматично, для унікальності кожної групи ролей користувачів

Для атрибутів сутностей визначені домени. Домен Number представляє ціле число в діапазоні від -2147483648 до 2147483648 і застосовується до всіх атрибутів з чисельними значеннями.

Для збереження текстової інформації створено три домени. Домен, String, дозволяє зберігати рядок довжиною до 20 символів. Для атрибутів, що потребують зберігання довших рядків, визначено домен Long\_string, який може зберігати рядки до 100 символів. Домен Text дозволяє зберігати рядки довільної довжини. Для опису логічних атрибутів використовується домен Boolean, де атрибут може приймати значення true або false.

Атрибути, що містять дату, мають домен Datetime, який дозволяє зберігати дату і час у діапазоні від 1000-01-01 00:00:00 до 9999-12-31 23:59:59. Для фізичного моделювання даних обрано СУБД MySQL. Для кожного домену обрано відповідний тип даних. Для доменів String та

Long\_string використовується тип даних VARCHAR(20) та VARCHAR(100) відповідно. Для домену Text обрано тип даних TEXT. MySQL не підтримує логічний тип даних Boolean, тому для полів з цим доменом обрано тип даних TINYINT, який є найменшим чисельним типом даних у MySQL з діапазоном від -127 до 128. Для полів, що відповідають домену Number, використовується тип даних INT.

Структура бази даних побудована так, що усі параметри озброєння та їх значення можна формувати окремими словниками (рис. 3.4, 3.5).

id	name	category_id	created_at	updated_at
1	22 Зона ураження: дальність, км	3	2024-06-11 14:56:10	2024-06-11 14:56:10
2	23 Зона ураження: висота, км	3	2024-06-11 14:56:22	2024-06-11 14:56:22
3	24 Маса бойової частини, кг	3	2024-06-11 14:56:50	2024-06-11 14:56:50
4	26 Час реакції, с	3	2024-06-11 15:00:10	2024-06-11 15:00:10
5	48 Кількість супроводжуваних цілей	2	2024-06-11 15:45:25	2024-06-11 15:45:25
6	60 Кількість цільових каналів	2	2024-06-11 16:10:11	2024-06-11 16:10:11
7	61 Дальність виявлення	2	2024-06-11 16:10:11	2024-06-11 16:10:11
8	62 дальність ураження , км	2	2024-06-11 16:10:11	2024-06-11 16:10:11
9	63 висота ураження , км	2	2024-06-11 16:10:11	2024-06-11 16:10:11

Рисунок 3.4 – Словник категорій озброєння

id	weapon_id	characteristic_id	value	created_at	updated_at
1	66	9	22 0.8-5	2024-06-11 16:14:42	2024-06-11 16:14:42
2	67	9	23 0.01-3.5	2024-06-11 16:14:42	2024-06-11 16:14:42
3	68	9	24 5.6	2024-06-11 16:14:42	2024-06-11 16:14:42
4	69	9	26 5-10	2024-06-11 16:14:42	2024-06-11 16:14:42

Рисунок 3.5 – Словник характеристик озброєння

### 3.4 Розробка інтерфейсу клієнтської частини вебзастосунку СППР у сфері закупівлі озброєнь

Інтерфейс клієнтської частини розроблено з урахуванням висунутих вимог, а також діаграми варіантів використання та структури БД СППР. Для розробки використано фреймворки Vue.js та Laravel.

Інтерфейс користувача включає сукупність вебсторінок для доступу

користувачів до всіх функцій СППР. Карта сайту з візуальним відображенням назв вебсторінок розробленого застосунку подано на рис. 3.6.



Рисунок 3.6 – Карта вебсторінок застосунку СППР

У відповідності до наведеної карти розроблено безпосередньо відповідні вебсторінки СППР у сфері закупівлі озброєнь з інтерфейсом доступу до бази даних. При заході на сайт користувачу відкривається головна сторінка (рис. 3.7), з якої можна потрапити на сторінку авторизації. Щоб потрапити на інші сторінки сайту, користувачу необхідно авторизуватися. Відповідно до свого рівня доступу, користувач отримує відповідні функціональні можливості на сайті. Якщо користувач ще не зареєстрований, він повинен дати запит на створення акаунту в системі до відповідному органу управління. Виконати реєстрацію на сторінці реєстрації самостійно неможливо.

Авторизований користувач отримує можливість створення та редагування категорій озброєння (рис. 3.8), створення та редагування інформації про нові зразки озброєння, а також пошуку необхідної інформації за допомогою фільтрів та формування пропозиції до рішення ОПР після використання обраної оптимізаційної моделі (рис. 3.9).

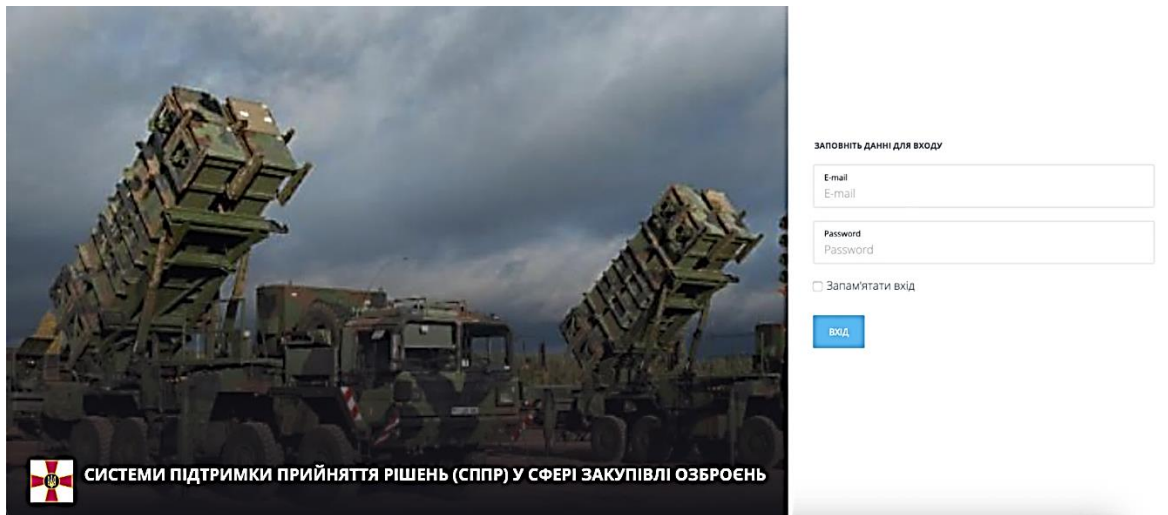


Рисунок 3.7 – Сторінка авторизації в СППР

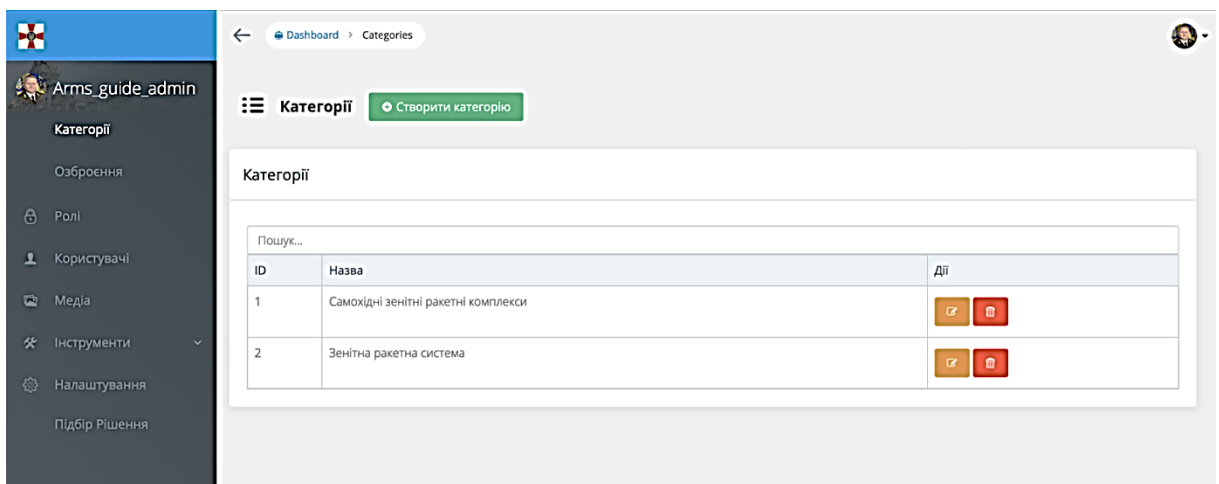


Рисунок 3.8 – Сторінка створення категорій озброєння в СППР

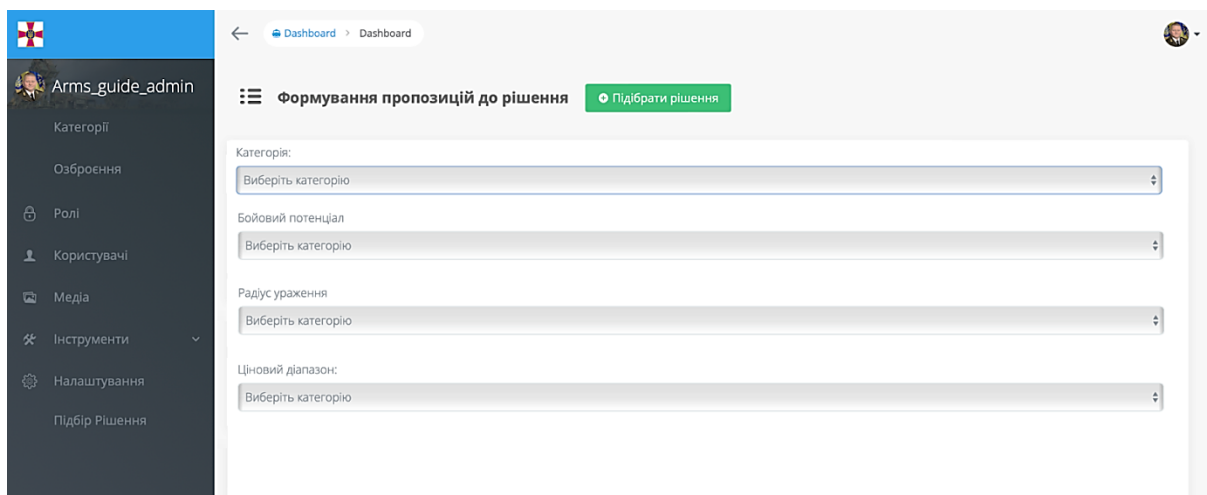


Рисунок 3.9 – Сторінка формування пропозицій до рішення ОПР

### 3.5 Дослідження функціонування СППР у сфері закупівлі озброєнь

Перед проведенням моделювання виконано верифікацію розробленого програмного забезпечення шляхом тестування. Виконано функціональне тестування застосунку з використання технології «чорного ящика». Підтверджено коректне виконання основних функцій реалізованих компонентів СППР.

Для перевірки готових сторінок вебзастосунку виконано автоматизоване тестування за допомогою інтегрованого середовища Selenium IDE. Доведено коректне функціонування сторінок застосунку та основних елементів управління, що на них розташовані.

Для дослідження та оцінювання результатів функціонування СППР в сфері закупівлі озброєнь проводились розрахунки пропозицій до прийняття рішення ОПР для визначення найкращих результатів за зразками зенітно-ракетного озброєння протиповітряної оборони (ППО), а саме – зенітними-ракетними комплексами (ЗРК) середньої дальності (СД). ЗРК СД – це найпоширеніший вид ЗРК в збройних силах країн світу, які забезпечують перехоплення і ураження повітряних цілей на дуальностях від 30 до 70 км. Такий поділ досить умовний, але у нашій країні він діє. Цей вибір був визначений актуальністю такого озброєння в умовах продовження повномасштабного вторгнення росії в Україну, а також нестачею таких ЗРК в ЗС України. Крім того, зараз такі ЗРК активно надходять в Україну в межах військової допомоги, а у майбутньому можуть закупатись державою. Тактико-технічні характеристики таких ЗРК можна знайти у відкритих джерелах [47]. Комплекси, які обрані для досліджень, представлені у таблиці 3.2.

Дослідження проводилось з використанням таких варіантів.

У першому варіанті оптимальне рішення знаходилося за методом ідеальної точки, коли вважалось, що всі показники (характеристики) озброєння однаково впливають на обраний показник оптимальності.

Таблиця 3.2 – Основні характеристики ЗРК СД

Найменування характеристик	Тип ЗРК					
	NASAMS	IRIS-T SLM	SAMP-T	MIM-104 PATRIOT	PATRIOT PAC-3	MIM-23 HAWK
Дальність ураження, км	від 2,5 до 40	до 40 SLM	від 3 до 100 від 3 до 25 БЦ	від 3 до 80 до 20 БЦ	до 60 АЦ до 20 БЦ	до 50
Висота ураження, км	від 0,03 до 16	до 25 SLM	до 25	від 0,06 до 24 до 11 БЦ	від 0,06 до 20	до 20
Час реагування, с	10	8	10	8	15	10
Час розгортання/ згортання, хв	15/3	10	9	30	20	30/10
Швидкість цілей, м/с	до 1000	<b>1100</b>	1300	до 1800	до 1600	1000
Ймовірність ураження	0,85	0,9	0,9	0,8 АЦ 0,3-0,4 БЦ	0,8 АЦ 0,6-0,8 БЦ	0,85
Кількість цільових каналів на зрбатр/зрдн	54 (9*6)	24 (3*8)	16	8	8	12
Зенітні керовані ракети (ЗКР):						
– швидкість ЗКР, м/с	1020	1020	1400	1700	1500	900
Боекомплект, од. зрбатр	54	24	до 48	до 32	до 128	24
Джерело	1*	2*	3*	4*	5*	6*

1\* – <https://uk.wikipedia.org/wiki/NASAMS>;

2\* – [https://uk.wikipedia.org/wiki/IRIS-T\\_SLM](https://uk.wikipedia.org/wiki/IRIS-T_SLM);

3\* – <https://uk.wikipedia.org/wiki/SAMP/T>;

4\* – <https://zn.ua/war/patriot-v-ukraine-kak-izmenitsja-khod-vojny-po-pribytii-amerikanskikh-zrk.html>;

5\* – <https://missilery.info/missile/erint>;

6\* – [https://uk.wikipedia.org/wiki/MIM-23\\_Hawk](https://uk.wikipedia.org/wiki/MIM-23_Hawk).

(9\*6) – 9 ПУ по 6 ЗКР на зрбатр

При цьому за алгоритмом (рис. 2.9) розрахунок «параметрів» ідеальної точки виконувався автоматично, з урахуванням екстремальних значень відповідних характеристик зразків озброєння. Така ситуація може бути подана у табл. 3.3. Кольором виділені показники, які вплинули на екстремальні параметри ідеальної точки.

Таблиця 3.3 – Основні характеристики ЗРК СД

Характеристики	Тип ЗРК						Ідеальна точка
	NASAMS	IRIS-T SLM	SAMP-T	MIM-104 PATRIOT	PATRIOT PAC-3	MIM-23 HAWK	
Дальність ураження, км	40	40	100	80	60	50	100
Висота ураження, км	16	25	25	24	20	20	25
Час реакції, с	10	8	10	8	15	10	8
Час розгорт., хв	15	10	9	30	20	30	9
Швидкість цілей, м/с	1000	1100	1300	1800	1600	1000	1800
Ймовірність ураження	0,85	0,9	0,9	0,8	0,8	0,85	0,9
Кількість ЦК	54	24	16	8	8	12	54
Швидкість ЗРК, м/с	1020	1020	1400	1700	1500	900	1700
Боекомплект, од.	54	24	48	32	64	24	64

Результат роботи СППР поданий на рис. 3.10.

The screenshot shows a dashboard with a sidebar on the left and a main content area. The main content area displays a list of missile systems in a shopping cart format. Each item includes a small image, the name of the system, a quantity selector (set to 1), and the price. A total value is shown at the bottom right.

System Name	Quantity	Price
ЗРК SAMP-T	1	\$2 540,00
ЗРК Patriot MIM-104	1	\$5 334,00
ЗРК IRIS-T SLM	1	\$1 757,00
ЗРК Patriot PAC-3	1	\$2 305,00
ЗРК NASAMS	1	\$5 968,00
<b>Загальна вартість:</b>		<b>\$17 504,00</b>

Рисунок 3.10 – Пропозиції до рішення ОПР за 1 варіантом

Перша альтернатива (ЗРК SAMP-T) є оптимальним розв'язком за алгоритмом методу ідеальної точки, інші альтернативи проранжовані у порядку збільшення «відстані» до ідеальної точки.

У другому варіанті оптимальне рішення знаходилося за методом ідеальної точки, коли вручну вводилися параметри ідеальної точки, а характеристики ЗРК мали однаковий пріоритет (табл. 3.4). Тобто, ОПР виставила додаткові обмеження, що впливають на оптимальне рішення в цілому, на власний розсуд.

Таблиця 3.4 – Основні характеристики ЗРК СД

Характеристики	Тип ЗРК						Ідеальна точка (вручну)
	NASAMS	IRIS-T SLM	SAMP-T	MIM-104 PATRIOT	PATRIOT PAC-3	MIM-23 HAWK	
Дальність ураження, км	40	40	100	80	60	50	70
Висота ураження, км	16	25	25	24	20	20	20
Час реакції, с	10	8	10	8	15	10	10
Час розгорт., хв	15	10	9	30	20	30	15
Швидкість цілей, м/с	1000	1100	1300	1800	1600	1000	1300
Ймовірність ураження	0,85	0,9	0,9	0,8	0,8	0,85	0,9
Кількість ЦК	54	24	16	8	8	12	50
Швидкість ЗКР, м/с	1020	1020	1400	1700	1500	900	1200
Боекомплект, од.	54	24	48	32	64	24	50

Результати роботи СППР за цим варіантом подано на рис. 3.11. Альтернативні рішення проранжовані за ступенем віддалення від ідеальної точки. Оптимальним рішенням є пропозиція щодо закупівлі ЗРК NASAMS.

У третьому варіанті експерименту ОПР вводить власні пріоритети для кожного показника ефективності, виходячи з наявної інформації про «важливість» часткових показників, що впливає на узагальнений критерій оптимальності (табл. 3.5). Розв'язок задачі знаходиться за алгоритмом послідовної оптимізації (рис. 2.10).

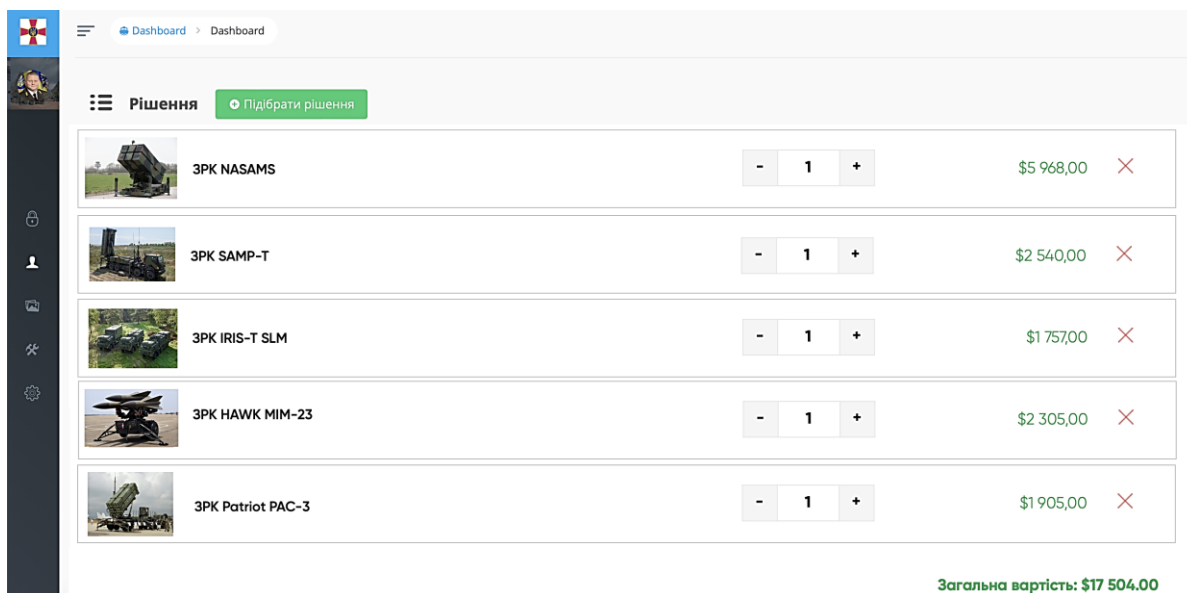


Рисунок 3.11 – Пропозиції до рішення ОНР за 2 варіантом

Таблиця 3.5 – Основні характеристики ЗПК СД

Характеристики	Тип ЗПК						Пріоритети ОНР
	NASAMS	IRIS-T SLM	SAMP-T	MIM-104 PATRIOT	PATRIOT PAC-3	MIM-23 HAWK	
Дальність ураження, км	40	40	100	80	60	50	0,3
Висота ураження, км	16	25	25	24	20	20	0,2
Час реакції, с	10	8	10	8	15	10	0,1
Час розгорт., хв.	15	10	9	30	20	30	0,05
Швидкість цілей, м/с	1000	1100	1300	1800	1600	1000	0,1
Ймовірність ураження	0,85	0,9	0,9	0,8	0,8	0,85	0,05
Кількість ЦК	54	24	16	8	8	12	0,1
Швидкість ЗКР, м/с	1020	1020	1400	1700	1500	900	0,05
Боєкомплект, од.	54	24	48	32	64	24	0,05

Цей варіант призводить до іншої послідовності альтернатив у сформованих пропозиціях до рішення (рис. 3.12), що можна пояснити розподілом вагових коефіцієнтів. Вагові коефіцієнти суттєво впливають на результат роботи СППР

Отже, за результатами проведеного моделювання та дослідження його результатів можна зробити такі висновки:

ЗПК	Кількість	Ціна
ЗПК SAMP-T	1	\$2 540,00
ЗПК Patriot MIM-104	1	\$5 334,00
ЗПК Patriot PAC-3	1	\$1 905,00
ЗПК NASAMS	1	\$5 968,00
ЗПК IRIS-T SLM	1	\$1 757,00
		<b>Загальна вартість: \$17 504.00</b>

Рисунок 3.12 – Пропозиції до рішення ОПР за 3 варіантом

а) розроблена система ППР працездатна і може бути використана в подальшому для обґрунтування рішень відповідних посадових осіб;

б) запропоновані алгоритми розв’язання багатокритеріальних задач в умовах визначеності часткових критеріїв можуть бути використані для автоматизації процесів прийняття рішень як такі, що забезпечують оптимізацію в процесі закупівель, розширюють можливості щодо аналітики машинозчитуваних даних в електронній системі закупівель;

в) для підвищення точності рішень необхідно збільшувати кількість часткових показників для розв’язання оптимізаційних задач, що ускладнюється можливостями отримання повних характеристик зразків озброєння в умовах конкурентної боротьби постачальників, а іноді – відсутністю їх практичного підтвердження.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної роботи розроблено компоненти системи підтримки прийняття рішень у сфері закупівлі озброєнь та алгоритми її функціонування.

Проведений аналіз предметної області дозволив виявити проблемні питання у сфері закупівлі озброєнь, з'ясувати можливі шляхи їх вирішення з урахуванням досвіду країн НАТО та особливостей застосування СППР у військовій сфері. З'ясовано актуальність запропонованої теми дослідження у зв'язку з тим, що на теперішній час СППР у сфері закупівлі озброєнь в Україні відсутні, хоча наукова та методична база у цій сфері створена.

Виконано функціональне та об'єктно-орієнтоване моделювання СППР, що дозволило запропонувати її архітектуру, уточнити функціональні та інші вимоги до компонентів такої системи. Обґрунтований вибір математичного апарату для розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації, до яких належить вибір зразків озброєння для закупівлі, розроблені алгоритми розв'язання таких задач у СППР.

Для реалізації та дослідження розроблених алгоритмів, з урахуванням висунутих вимог, розроблені компоненти інформаційної СППР у сфері закупівлі озброєнь як вебзастосунок з використанням сучасних технологій проектування та розробки такого програмного забезпечення.

Проведено дослідження функціонування СППР з реалізованими алгоритмами, що дозволило зробити висновки про можливість та доцільність їх використання для автоматизації та підвищення якості пропозицій до рішення щодо закупівлі озброєння, які надаються посадовим особам, що їх приймають. Практичне застосування таких систем в оборонній сфері дозволить надати ОПР інструмент для забезпечення обґрунтованості та ефективності управлінських рішень, сприяти оснащенню ЗСУ якісним та ефективним озброєнням, раціональному використанню фінансових ресурсів держави, знизити ризики суб'єктивних помилок та корупції.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Про оборонні закупівлі : Закон України від 16.03.2024 р. № 808-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/808-20#Text> (дата звернення 17.04.2024).
2. Україна мала б удвічі більше систем ППО, якби не зрив держзамовлення 2020-2021 років, - Муженко. URL: <https://espresso.tv/ukraina-mala-b-udvichi-bilshe-sistem-ppo-yakbi-ne-zriv-derzhzamovlennya-2020-2021-rokiv-muzhenko> (дата звернення 04.04.24).
3. Стратегічний оборонний бюлетень України : Указ Президента України 17.09.2021 № 473/2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/473/2021#n17> (дата звернення 28.03.2024).
4. Bzot S., Lapta I., Prendetskyi O., Reshetnik V. Trends in the development of decision support systems. *Новітні технології – для захисту повітряного простору*: Зб. тез доповідей XX міжнар. наук. конф. Харківського національного університету Повітряних Сил імені І. Кожедуба, 02-03 травня 2024 р. м. Харків, 2024. С. 783-784.
5. Бзот С. В. Розробка компонентів системи підтримки прийняття рішень у сфері закупівлі озброєння та військової техніки. Інформаційні інтелектуальні системи : Зб. матеріалів 28-го Міжнародного молодіжного форуму «Радіоелектроніка та молодь у XXI столітті», 16-18 квітня 2024 р., Т. 6., Харків, ХНУРЕ. 2024. С. 691-692.
6. Про затвердження Положення про Міністерство оборони України : Постанова Кабінет Міністрів України від 26.11.2014 р. № 671. Дата оновлення: 24.02.2024, URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/671-2014-%D0%BF#Text> (дата звернення: 15.05.2024).
7. Про утворення державного підприємства Міністерства оборони України «Агенція оборонних закупівель» : Наказ Міністерства оборони України від 17.06.2022 р. № 159. URL: [https://www.mil.gov.ua/content/mou\\_orders/mou\\_2022/159\\_nm.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/mou_orders/mou_2022/159_nm.pdf) (дата звернення: 15.04.2024).
8. Про національну безпеку України : Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2469-19> (дата звернення 28.03.2024).

9. Про оборону України: Закон України від 06.12.1991, № 1932-ХІІ. Редакція від 04.04.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1932-12> (дата звернення 28.04.2024).

10. Про Збройні Сили України: Закон України від 06.12.1991, № 1934-ХІІ. Редакція від 23.03.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1934-12>. (дата звернення 28.03.2024).

11. Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки: Закон України від 11.07.2001 № 2623-ІІІ. Редакція від 13.01.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2623-14> (дата звернення 28.03.2024).

12. Про наукову і науково-технічну діяльність: Закон України від 26.11.2015 № 848-VІІ. Редакція від 04.01.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-19> (дата звернення 28.03.2024).

13. Про державні цільові програми: Закон України від 18.03.2004 № 1621-ІV. Редакція від 31.03.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1621-15> (дата звернення 28.03.2024).

14. Бюджетний кодекс України від 8.07.2010 № 2456-VІ. Редакція від 01.01.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-17> (дата звернення 28.04.2020).

15. Порядок розроблення та виконання державних цільових програм : Постанова Кабінету Міністрів України від 31.01.2007 № 106-2007п. Редакція від 23.04.2021. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/106-2007-%D0%BF> (дата звернення 28.03.2024).

16. Про затвердження Положення про середньострокове та короткострокове оборонне планування в Міністерстві оборони України і Збройних Силах України: наказ Міністерства оборони України від 17.11.2016 № 610. URL: [https://www.mil.gov.ua/content/mou\\_orders/610\\_nm\\_2016.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/mou_orders/610_nm_2016.pdf) (дата звернення 28.03.2024).

17. Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України : затверджено Міністром оборони України 12.06.2017. [https://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson\\_CBPR\\_120617.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBPR_120617.pdf) (дата звернення 28.03.2024).

18. Питання оборонних закупівель : Постанова Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 р. № 363. Редакція від 20.05.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/363-2021-%D0%BF#n204> (дата звернення 28.04.2024).

19. Про схвалення Стратегії здійснення цифрового розвитку, цифрових

трансформацій і цифровізації системи управління державними фінансами на період до 2025 року та затвердження плану заходів щодо її реалізації : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 17.11.2021 р. № 1467-р. Редакція від 11.04.2023. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1467-2021-%D1%80#Text> (дата звернення 28.04.2024).

20. Про схвалення Стратегії реформування системи публічних закупівель на 2024-2026 роки та затвердження операційного плану її реалізації у 2024-2025 роках : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 2.02.2024 р. № 76-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/76-2024-%D1%80#Text> (дата звернення 28.04.2024).

21. Ткач І., Синявський В., Яковчук Є., Рудий М., Корчицький В., Сергієнко Р. Аналіз міжнародного досвіду з організації системи державних закупівель озброєння та військової техніки. *Journal of Scientific Papers «Social Development and Security»*. 2021. Vol. 11, No. 2. С 178-197. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/543943-analysis-of-international-experience-in-1d629b7e.pdf> (дата звернення 29.04.2024).

22. Totev D. Implementation of Results-Oriented Defense Resource Management in the Bulgarian MoD – Problems and Way Ahead. *Information and security. An international Journal*. Vol.23, No.2, 2009, 175-187. URL: <https://connections-qj.org/article/implementation-results-oriented-defenseresource-management-bulgarian-mod-problems-and-way>.

23. Загороднюк А., Переверзев А. Доповідь з питань оборонних закупівель : Центр оборонних стратегій, Київ, 2021. URL: <https://defence.org.ua/wp-content/uploads/doslidzhennya/CDS-Dopovid-z-pytan-oboronnykh-zakupivel-ukr.pdf> (дата звернення 28.04.2024).

24. Бідюк П.І., Тимощук О.Л., Коваленко А.Є., Коршевніук Л.О. Системи і методи підтримки прийняття рішень : підручник. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 610 с.

25. Eduardo Cardenas. Decision Support Systems for Command and control: The need for a commander's strategic decision aid : Strategy Research Project. U.S. Army War College, Pennsylvania, USA, 1997. 41 p. URL: <https://www.academia.edu/74562622> (дата звернення 28.04.2024).

26. J. Pohl, A. Chapman, K.J. Pohl, J. Primrose, A.Wozniak. Decision-Support Systems: Notions, Prototypes and In-Use Applications With Emphasis on Military Applications. Collaborative Agent Design Research Center (CADRC) California

Polytechnic State University, San Luis Obispo, USA. 2003. 158 p. URL: <https://www.researchgate.net/publication/266480445>. (дата звернення 02.05.2024).

27. Особливості застосування систем підтримки прийняття рішень у військовій сфері / Третяк В.Ф, Коломійцев О.В. та ін. *Military affairs and national security: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference «Diversity and Inclusion in Scientific Area»*, March 26-28, 2024. Warsaw, Poland. p. 474–481. URL: <https://archive.interconf.center/index.php/conference-proceeding/article/view/5781> (дата звернення 02.05.2024).

28. Биченков В.В. Синтез системи підтримки прийняття рішень визначення рівня спроможностей Збройних Сил України в ході оборонного планування. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони: Національний університет оборони України, Київ, № 3 (24), 2015. С. 9-17.* URL: <https://sit.nuou.org.ua/article/view/60932/57028> (дата звернення 02.05.2024).

29. Галаган В.І., Полішко С.В., Бондарчук С. В. Застосування систем підтримки прийняття рішень в управлінні нерухомим військовим майном Збройних Сил України. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України, Київ, 2018, № 1 (62). С. 74-79.* URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd\\_2018\\_1\\_14](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpcvsd_2018_1_14) (дата звернення 02.05.2024).

30. Сучасні особливості впровадження методу «планування на основі спроможностей» у систему оборонного планування в Збройних Силах України / Масловський С.С., Семененко О.М. та ін. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил, Харків, 2017, № 5(54). С. 187-196.*

31. Avramenko Dmytro. Functional model of the decision-making support system in the strategic communications system of the Armed Forces of Ukraine. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони: НУОУ, Київ, 2023, № 3(48). С. 140-146.* DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2023-48-3-140-146> (дата звернення 02.05.2024).

32. Поліщук О.М., Свешніков С.В., Бочарніков В.П. Погляди на побудову системи аналітичної підтримки формування воєнної політики України. 2022. URL: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=4028561](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4028561) (дата звернення 02.05.2024).

33. Ткачук П.П., Литвин Е.В., Лучук Е.В. Система підтримки прийняття рішень як складова автоматизованої системи управління Сухопутних військ

Збройних Сил України. *Військово-технічний збірник*. 2014. № 11. С. 56–63. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.11.2014.56-63> (дата звернення 28.04.2024 єто біло 25).

34. Звиглянич С.М., Бзот В.Б., Антонов А.В. Система підтримки прийняття рішень на основі використання розвідувальних відомостей. *Системи обробки інформації*, ХУПС ім. І. Кожедуба, Харків, 2016, випуск 7 (144). С. 83-85. (єто біло 26).

35. Нестеренко О.В., Савенков О.І., Фаловський О.О. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібн. / За ред. П.І. Бідюка. Київ: Національна академія управління, 2016. 188 с.

36. Бідюк П.І., Тимощук О.Л., Коваленко А.Є., Коршевніук Л.О. Системи і методи підтримки прийняття рішень: підручник. Київ: НТУ КПП ім. Ігоря Сікорського, 2022. 610 с. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/6958f683-fbac-4506-9c85-5115c8f8b4c6/content> (дата звернення 03.05.2024).

37. Михайло Віговський. Системи підтримки прийняття рішень для українських підприємств: особливості та переваги. URL: <https://softline.org.ua/news/sistemi-pidtrimki-prijnatta-risen-dla-ukrainskih-pidприємств-osoblivosti-ta-perevagi.html> (дата звернення 03.05.2024).

38. Мінухін С.В., Беседовський О.М., Знахур С.В. Методи і моделі проектування на основі сучасних CASE-засобів: навч. пос. Харків: ХНЕУ, 2008. 272 с.

39. Ситник В. Ф. Системи підтримки прийняття рішень: навч. пос. Київ: КНЕУ, 2009. 614 с.

40. Бідюк О.П., Гожий О.П., Коршевніук Л.О. Комп'ютерні системи підтримки прийняття рішень: навч. пос. Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили, 2012. 380 с.

41. Проблеми технічного оснащення Збройних Сил України та шляхи їх розв'язання в сучасних умовах / Чепков І.Б., Борохвостов І.В. та ін. *Наука і оборона*. 2014. № 3. С. 43-50.

42. Наконечний О.Г., Гребеннік І.В., Романова Т.Є., Тевяшев А.Д. Методи прийняття рішень: навч. пос. Харків: ХНУРЕ, 2015. 132 с.

43. Волошин О.Ф., Мащенко С.О. Моделі та методи прийняття рішень: навч. пос. Київ: «Видавництво Людмила», 2018. 292 с.

44. Anthony Gore. Full-Stack Vue.js 2 and Laravel 5. Packt Publishing Ltd, UK. 2017. 474 p. URL: [https://www.academia.edu/50920074/\\_VUE\\_LARAVEL\\_Full\\_Stack\\_Vue\\_js\\_2\\_and\\_Laravel\\_5\\_1\\_](https://www.academia.edu/50920074/_VUE_LARAVEL_Full_Stack_Vue_js_2_and_Laravel_5_1_) (дата звернення 02.05.2024).

45. Hilal Farooq. Laravel Framework as the Best Framework for PHP based Web Development of Small Medium, Large and E-Commerce Web Applications. 2021. URL: [https://www.academia.edu/49399892/Laravel\\_Framework\\_as\\_the\\_Best\\_Framework\\_for\\_PHP\\_based\\_Web\\_Development\\_of\\_Small\\_Medium\\_Large\\_and\\_E\\_Commerce\\_Web\\_Applications](https://www.academia.edu/49399892/Laravel_Framework_as_the_Best_Framework_for_PHP_based_Web_Development_of_Small_Medium_Large_and_E_Commerce_Web_Applications). (дата звернення 06.05.2024).

46. Itarun Pitimon. The New Stack: The Docker and Container Ecosystem. eBook Series. 2021. 131 p. URL: [https://www.academia.edu/18830429/The\\_Docker\\_and\\_Container\\_Ecosystem](https://www.academia.edu/18830429/The_Docker_and_Container_Ecosystem). (дата звернення 06.05.2024).

47. Василии Н.Я., Гуринович А.Л. Зенитные ракетные комплексы. Минск: Белорусский дом печати, 2001. 463 с.