УДК 621.316

Н. О. Королюк, А. Ю. Бутенко

АНАЛІЗ МЕТОДІВ УПРАВЛІННЯ ВОГНЕВИМИ ЗАСОБАМИ ПІДРОЗДІЛІВ ЗЕНІТНИХ РАКЕТНИХ ВІЙСЬК ШЛЯХОМ ПОРІВНЯННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНИХ АЛЬТЕРНАТИВ

Анотація. *Обґрунтовано підхід до підвищення ефективності управління вогневими засобами підрозділів зенітних ракетних військ в умовах інтенсивного застосування противником засобів повітряного нападу. Проаналізовано існуючі методи багатокритеріального прийняття рішень для розв'язання задач цілерозподілу та ранжування повітряних цілей противника. Визначено обмеження застосування моделей математичного програмування, методів прямої бальної оцінки, зваженої суми критеріїв (WSM) та групи ELECTRE. Визначено ефективність використання модифікованого методу аналізу ієрархій, який забезпечує врахування системних зв'язків, динамічних кінематичних параметрів цілей і потенційних збитків об'єктам прикриття при жорстких часових обмеженнях. Запропонований підхід дозволяє формувати рішення щодо послідовності ураження повітряних цілей із метою мінімізації втрат боєздатності техніки та особового складу підрозділів зенітних ракетних військ та об'єктів прикриття.*

Ключові слова: *зенітні ракетні війська, засоби повітряного нападу, ранжування цілей, багатокритеріальне прийняття рішень, метод аналізу ієрархій.*

Annotation. *An approach to enhancing the efficiency of fire control for anti-aircraft missile units under conditions of intensive enemy air attack resource utilization is substantiated. Existing multi-criteria decision-making methods for target distribution and enemy air target ranking are analyzed. Operational limitations of mathematical programming models, direct score estimation methods, the Weighted Sum Model (WSM), and the ELECTRE family of methods in real-time control loops are identified. The effectiveness of employing a modified Analytic Hierarchy Process (AHP) is demonstrated, ensuring the integration of system dependencies, dynamic kinematic target parameters, and potential damage to defended assets under strict time constraints. The proposed approach enables adaptive decision-making regarding the sequence of air target engagement, aimed at minimizing losses in combat capability of equipment, personnel of anti-aircraft missile units, subordinate forces, and protected infrastructure.*

Key words*: anti-aircraft missile troops, air attack weapons, target ranking, multi-criteria decision-making, analytic hierarchy process.*

Досвід війни свідчить, що противник зосереджує основні зусилля на руйнуванні ключових об'єктів державного управління, військового командування, енергетичної та транспортної інфраструктури. Активне використання та постійне вдосконалення засобів повітряного нападу дозволяє противнику вирішувати завдання стратегічного масштабу, що підкреслює важливість ефективної протиповітряної оборони (ППО) та протиракетної оборони (ПРО) як основного стримуючого фактора. На сьогоднішній день можна стверджувати, що ППО і ПРО вже сформувались як окремі функціональні підсистеми в межах загального комплексу по прикриттю повітряного простору, боротьби з повітряними цілями (ПЦ). У зв'язку з необхідністю ефективного захисту від повітряних загроз більшість країн світу використовують ешелоновану систему ППО, яка включає як стаціонарні, так і мобільні компоненти, що забезпечує гнучкість реагування на загрози та підвищує живучість системи ППО в цілому. Стаціонарна ППО представлена засобами великої дальності, розміщеними навколо стратегічно важливих об'єктів, що забезпечує багаторівневе покриття на стаціонарних позиціях. Мобільна ППО забезпечується силами, які здатні до швидкого розгортання та дій в швидкоплинних умовах ведення боротьби.

Автоматизація процесу прийняття рішень на управління вогневими засобами підрозділів Повітряних Сил можлива шляхом створення нових та вдосконалення існуючих методів на основі сучасних інформаційних технологій, зокрема – інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень. Інтелектуалізація передбачає застосування знань, вмінь осіб, що приймають рішення, комплексом засобів автоматизації при вирішенні завдань управління та контролю в умовах

інтенсивних бойових дій.

У зв’язку зі зростанням вимог до якості управління підрозділами зенітних ракетних військ (ЗРВ) в умовах ведення війни виникає необхідність вдосконалення існуючих алгоритмів управління вогневими засобами на основі прогнозування варіантів розвитку бойової обстановки та тактики повітряного противника.

Проведений аналіз показав, що більшість існуючих підходів до розподілу ресурсів базуються на методах математичного програмування. Зокрема, у працях [1, 2] розв’язання скалярних і векторних задач розподілу здійснюється із застосуванням точних або наближених методів лінійного призначення (вибору). При цьому ключовими критеріями ефективності цільового розподілу виступають середня кількість знищених об’єктів та/або тривалість їх обслуговування. У дослідженні [3], спираючись на загальні необхідні умови Куна-Таккера, розглянуто нелінійну задачу розподілу, де в якості показника використовується середня кількість необслужених об’єктів із урахуванням їх пріоритетності (весових коефіцієнтів) у межах масованого ракетно-авіаційного удару.

Пропонується, в умовах інтенсивного нальоту базуватися на ранжуванні цілей із формуванням скалярних або векторних показників узагальнених (потенційних та/або реальних) збитків, яких можна уникнути при масованому ракетно-авіаційному ударі. Зазначений підхід є особливо важливим під час організації ППО підрозділами ЗРВ, де просторово-часові обмеження досягають граничних значень, а ціна помилки вимірюється втратою боєздатності техніки та особового складу. Прогнозування дій групи об’єктів системи повітряного базування (ОС ПБ) дозволяє здійснювати розрахунки не по поодиноких, ізольованих ПЦ, а по системі взаємопов'язаних повітряних об'єктів із урахуванням тактичної ролі, пріоритетності та потенційного рівня загрози для об'єкта прикриття. При цьому для кожного обраного ОС ПБ визначається ймовірність виконання поставленого йому завдання.

Критерієм вибору оптимального варіанту є максимізація очікуваної ефективності системи ППО – мінімізація збитків, яких зазнає підрозділ ЗРВ, об’єкт прикриття, у разі реалізації даного варіанту цілерозподілу.

При виборі математичного апарату для розв’язання задачі ранжування ПЦ здійснено аналіз методів багатокритеріального вирішення задач прийняття рішень. За результатами аналізу встановлено, що жоден із традиційних чи комбінаторних підходів не задовольняє повною мірою вимогам до програмного забезпечення АСУ в умовах динамічного повітряно-ракетного бою. Зокрема, методи прямої бальної оцінки та зваженої суми критеріїв (WSM), попри високу швидкодію, мають спрощену лінійну структуру, що унеможливлює коректне опрацювання різнорозмірних, взаємозалежних показників збитків і швидкозмінних параметрів цілей. Водночас група методів ELECTRE, забезпечуючи високу гнучкість оцінювання, великі затримки в обчислювальному контурі реального часу через надмірну алгоритмічну складність та ризик виникнення циклічних колізій.

Отже, проведений аналіз методів вирішення багатокритеріальних задач підтвердив, що для автоматизованих систем управління підрозділами ЗРВ в умовах інтенсивного нальоту противника найбільш обґрунтованим є застосування модифікованого методу аналізу ієрархій (MAI). На відміну від спрощених лінійних моделей та обчислювально складних методів групи ELECTRE, MAI забезпечує необхідний баланс між точністю опрацювання взаємозалежних параметрів збитків і швидкістю розрахунків у реальному часі [4].

MAI складається з наступних основних етапів:

1. Структурування задачі у вигляді ієрархії з кількома рівнями: цілі – критерії – альтернативи.
2. Проведення попарних порівнянь елементів кожного рівня особою, яка приймає рішення, занесення результатів до таблиць.
3. Обчислення коефіцієнтів значущості для елементів кожного рівня.
4. Підрахунок кількісного показника якості кожної альтернативи, визначення найкращої альтернативи.

Запропонований підхід, що базується на комбінації статичного ранжування ОС ПБ, дозволяє формувати адаптивний цілерозподіл вогневих засобів, оптимізувати послідовність ураження повітряних об’єктів та мінімізувати потенційні втрати боєздатності підрозділів

Повітряних Сил Збройних Сил України в умовах жорстких просторово-часових обмежень. Це забезпечує підвищення швидкодії системних алгоритмів автоматизованого управління та оперативність прийняття рішень щодо відбиття масованих ракетно-авіаційних ударів противника.

Список використаних джерел:

1. Kuhn H. W. The Hungarian Method for the Assignment Problem // Naval Research Logistics Quarterly. 1955. Vol. 2, no. 1/2. P. 83–97.
2. Bertsekas D. P. Network Optimization: Continuous and Discrete Models. Belmont : Athena Scientific, 1998. 608 p.
3. Бантіхін В. К. Методи оптимізації та дослідження операцій : підручник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2015. 385 с.
4. Гладкий М. В., Берко А. Ю. Методи та системи підтримки прийняття рішень : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2017. 320 с.

Королюк Наталія Олександрівна *– доцент, кандидат технічних наук, професор кафедри бойового застосування та експлуатації автоматизованих систем управління факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, email:* natali-kor@ukr.net *, ORCID* https://orcid.org/0000-0002-2865-5899 .

Бутенко Анастасія Юріївна *– слухач факультету автоматизованих систем управління та наземного забезпечення польотів авіації Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків, вул. Сумська 77/79, інд. 61009, email: nastya.nekrasova.0404@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0008-2429-058X .*

Nataliia Oleksandrivna Koroliuk – *Associate Professor, PhD in Technical Sciences, Professor of the Department of Combat Use and Operation of Automated Control Systems, Faculty of Automated Control Systems and Aviation Ground Support of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: natali-kor@ukr.net , ORCID https://orcid.org/0000-0002-2865-5899 .*

Anastasiia Yuriivna Butenko *– master's student Faculty of Automated Control Systems and Aviation Ground Support of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Sumska St. 77/79, Ind 61009, email: nastya.nekrasova.0404@gmail.com, ORCID https://orcid.org/0009-0008-2429-058X .*