

С.М. Чумаченко, О.В. Самойленко, Ю.О. Невзгляденко

Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ В УМОВАХ ПРОТИДІЇ УРАЖЕННЮ ЇХ ЗАСОБАМИ ПОВІТРЯНОГО НАПАДУ

В умовах протидії збройній агресії РФ питання розробки засобів захисту критичної інфраструктури отримують пріоритетне значення у зв'язку зі значною потенційною загрозою для національної безпеки і оборони. З розвитком принципів застосування ракетних та авіаційних засобів ураження по об'єктам критичної інфраструктури відповідно відбувається розвиток систем захисту, що спроможні протидіяти цим засобам ураження.

Аналіз публікацій за напрямом протидії засобам повітряного нападу показує, що різке та різноманітне застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА) в сучасних бойових діях, їх стрімкий технологічний розвиток виявив проблему ефективної боротьби з ними, особливо з міні та мікро БпЛА, яка на даний час залишається надзвичайно складною, системною, і до цих пір ефективно не вирішеною.

У роботі обґрунтовано поняття ефективності, яке може бути використано для визначення співвідношення “ефективність-вартість” при оцінюванні перспективних закордонних та вітчизняних систем захисту об'єктів критичної інфраструктури. Проведено аналіз системних ознак сучасного комплексу сил і засобів захисту критичної інфраструктури, що здатні ефективно протидіяти ударним БпЛА, крилатим і балістичні ракетам, плануючим бомбам і засобам ракетних систем залпового вогню та іншим засобам повітряного нападу.

За результатами публікації запропоновано рекомендації щодо комплексу технічних та організаційно-тактичних заходів для захисту критичної інфраструктури від засобів повітряного нападу.

Ключові слова: *система захисту об'єктів критичної інфраструктури, об'єкти критичної інфраструктури, системний підхід, засоби повітряного нападу, ефективність.*

Вступ

Постановка проблеми. Розвиток науково-технічної революції у військовій сфері, що активно продовжується в першій половині 3-го тисячоліття, стимулює пошук ефективних способів протидії збройній агресії з більш оснащеним в технічному плані супротивником, який широко використовує новітні інформаційні технології та засоби ураження для атак на об'єкти критичної інфраструктури (ОКІ). Враховуючи досвід гібридних війн в Іраку, Югославії, Сирії та Україні, характерним є застосування засобів повітряного нападу бомбардувальної авіації (стратегічної й фронтової), корабельних (надводних і підводних) та наземних систем базування, що знаходяться поза зоною можливого ураження систем протиповітряної оборони (ППО) і протиракетної оборони (ПРО).

В умовах протидії збройній агресії РФ питання розробки засобів захисту критичної інфраструктури (КІ) отримують пріоритетне значення у зв'язку зі значною потенційною загрозою для національної безпеки і оборони. На сьогоднішній день засоби повітряного нападу грають пріоритетну роль під час ударів по ОКІ і серед них ми можемо виділити ударні

БпЛА (FPV-дрони, дрони-камікадзе, шахеди), крилаті ракети (КР), балістичні ракети (БР), кореговані бомби (КБ), реактивні системи залпового вогню (РСЗВ) та інші засоби повітряного нападу.

З розвитком принципів застосування ракетних та авіаційних засобів ураження по ОКІ відповідно відбувається розвиток систем захисту, що спроможні протидіяти цим засобам ураження.

Якщо розглянути засоби захисту ОКІ, то їх можна класифікувати на декілька типів:

- фізичний захист;
- зенітні комплекси;
- зенітно-ракетні комплекси;
- протидронові комплекси;
- аеростатні загородження;
- радіоелектронна боротьба.

Традиційно до вирішення цієї проблеми залучаються різні типи зенітних комплексів, таких як зенітні ракетні комплекси (ЗРК), зенітні артилерійські комплекси (ЗАК), зенітні гарматно-ракетні комплекси (ЗГРК), переносні зенітні ракетні комплекси (ПЗРК), мобільні вогневі групи ППО, які за своїми характеристиками спроможні виявляти та вражати

КР, БР, КБ, РСЗВ. Але використання більшої частини зенітних і ракетних комплексів неприйнятне проти БПЛА за критерієм “ефективність-вартість”.

Враховуючи такий стан справ відбувається пошук нових прийнятних засобів боротьби з повітряними засобами ураження для захисту ОКІ. Такі роботи спрямовані на використання як засобів радіоелектронної та оптико-електронної боротьби, так і засобів маскування та макетів техніки, різних перешкод у повітрі (аеростати, сітки та інше), а також на можливу модернізацію зенітно-ракетних комплексів, характеристики яких потенційно можуть бути покращені для ведення ефективної боротьби з БПЛА, КР, БР, КБ, РСЗВ. Виконання наведених напрямів робіт передбачає проведення попередньої оцінки їх ефективності, як за окремими рішеннями, так і за сукупністю рішень. У зв'язку з цим актуальним постає завдання обґрунтування критеріїв оцінки системи захисту ОКІ, протидії та боротьби з засобами повітряного нападу, що позбавлена недоліків притаманних сучасним зенітним комплексам, яка спроможна ефективно захищати КІ, виявляти та вражати ударні БПЛА, КР, БР, КБ, РСЗВ, виконувати завдання боротьби або самостійно, або ж у складі існуючих комплексів ППО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Аналіз публікацій за напрямом протидії КР, БР, ПБ, РСЗВ, показує, що наукових публікацій з даної тематики досить багато. У переважній більшості робіт в цій галузі переважають надмірно оптимістичні висновки щодо успішності ураження всіх видів повітряного нападу існуючими ще радянськими (російськими) засобами ППО, ПРО та радіоелектронної боротьби [1...9]. Разом з тим, різке та різноманітне застосування БПЛА в сучасних бойових діях, їх стрімкий технологічний розвиток виявили проблему ефективної боротьби з ними, особливо з міні та мікро БПЛА, яка на даний час залишається надзвичайно складною, системною, і до цих пір ефективно не вирішеною [10]. Відмічається, що ефективна протидія БПЛА можлива за умови виконання комплексу організаційних й технічних заходів та передбачає:

розгортання систем та засобів, що забезпечують достовірне, точне і своєчасне виявлення та ідентифікацію БПЛА, а також наземних пунктів управління ними;

розгортання систем та засобів радіоелектронного придушення радіоканалів БПЛА;

застосування засобів вогневого ураження БПЛА під час польоту;

проведення маскування ймовірних об'єктів розвідки або диверсій з використанням БПЛА;

здійснення оперативної роботи, спрямованої на завчасне виявлення ймовірних місць пусків та розміщення пунктів управління БПЛА, їх знищення.

Так, у роботах [5...7] виконаний тільки аналітичний огляд особливостей способів протидії БПЛА без їх порівняння між собою. У роботі [3] наведений алгоритм оцінки ефективності комплексних заходів протидії, деякі тактичні і технічні характеристики БПЛА але він не враховує можливі умови бойової обстановки та погоднокліматичні умови. У роботі [4] запропонована якісна оцінка способів протидії БПЛА без кількісних оцінок. У [11] запропонована система критеріїв для оцінки ефективності способів протидії БПЛА з їх кількісною оцінкою, але систематизація способів протидії носить дуже суб'єктивний характер, без врахування особливостей об'єктів КІ, вартісних показників та особливостей складу систем захисту об'єктів КІ (ОКІ).

Крім того, у цих роботах, як правило, не обговорюється воєнно-технічний аспект оцінки технічних рішень за критерієм “ефективність – вартість”. Вважається, що “ефективність” є спроможність системи утворювати системний ефект, але така спроможність має кількісну міру.

Метою публікації є застосування системного підходу до формування поняття ефективності для оцінювання системи захисту об'єктів критичної інфраструктури (СЗОКІ) від повітряного нападу.

Виклад основного матеріалу

Основні принципи системного підходу впливають із загальної концепції застосування об'єкта “складна система” для досягнення мети. Основою загальної концепції функціонування складної системи є кероване (згідно завданню – стимулу) перетворення ресурсного потенціалу системи у системний ефект (реакцію) для досягнення системної мети [1], що й визначає зміст системних ознак, властивостей і характеристик, як то показані на рис. 1.

Кожна складна система складається з підсистем, які мають своє цільове призначення. Умовно у складі складних технічних систем виділяють за призначенням інформаційну, керуючу, виконавчу підсистеми та підсистему забезпечення. Їх спільна робота і повинна забезпечити ефективну роботу всієї системи захисту ОКІ і боротьби з засобами повітряного нападу.

Визначимо суперкритерій “ефективність-вартість” для оцінки всієї СЗОКІ і боротьби з засобами повітряного нападу.

Вважається, що “ефективністю” є спроможність системи утворювати системний ефект, але така спроможність має кількісну міру.

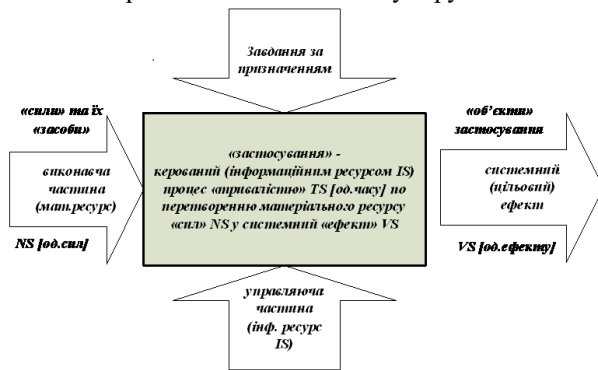


Рис. 1. Концептуальна модель “функції складної системи”
Джерело: [1]

Таким чином, об’єктивно існує безпосередній зв’язок між рівнем системного ефекту VS і витратами RS потенціалу здатності СЗОКІ на його утворення (які дорівнюють “трудовитратам” СЗОКІ NS за час її застосування TS за дією управління використання інформаційного ресурсу IS).

Очевидний характер такого зв’язку в системах матеріальної природи – це “пряма” залежність ефекту від витрат, тому вважаємо, що аксіоматично справедливо –

$$VS(IS) = ES \times RS(IS) = ES \times \{NS(IS) \times TS(IS)\} \quad (1)$$

Тому коефіцієнт “перетворення” ES , який має фізичний зміст продуктивності витрат потенціалу здатності (ресурсів) по створенню ефекту СЗОКІ, є загальною мірою її “досконалості” (тобто її “доцільності” як пристосованості до використання за призначенням) і служить об’єктивною оцінкою ефективності системи в акті застосування; він дорівнює, як то витікає із (1) –

$$ES = \frac{VS(IS)}{RS(IS)} = \frac{VS(IS)}{\{NS(IS) \times TS(IS)\}} \quad (2)$$

Підкреслимо, що загальносистемна характеристика “ефективність” є фундаментальною для “складної” системи, оскільки визначається загально-системними “зовнішніми” показниками (системним ефектом VS , складом сил NS , часом застосування TS), що пов’язані з кінцевим результатом акту застосування системи і тому залежать від усіх “внутрішніх” факторів – системних ознак.

Інформаційний ресурс СЗОКІ, що містить дані про стан матеріальних ресурсів та умови застосування системи, інформаційні та комунікаційні технології та засоби інформатизації управління, дозволяє сформулювати план X розподілу засобів захисту по

об’єктах застосування, план розподілу сил по заходах процесу застосування та план (сценарій) дій D “сил” по реалізації планів X , Y розподілу, які складають зміст “організаційного управління” і саме якість котрих визначає ефективність СЗОКІ.

Для кількісної оцінки системної ефективності ES тому потрібно провести обчислення значення функціоналу –

$$ES(VS, NS, TS) = \frac{VS(BS(X))}{NS(Y, D) \times TS(Y, D)}, \quad (3)$$

де X – “план” розподілу засобів СЗОКІ BS по ОКІ; Y – “план” розподілу сил СЗОКІ NS по завданнях процесу застосування для реалізації плану розподілу засобів X ; D – “план” (сценарій) дій сил СЗОКІ у часі TS по виконанню завдань щодо застосування її засобів захисту.

Принцип “максимуму системної ефективності” системного підходу, безумовно, є фундаментальним критерієм оптимальності “рішень” щодо створення, застосування і розвитку СЗОКІ.

Таким чином, об’єктивно існує безпосередній зв’язок між рівнем системного ефекту VS і витратами RS потенціалу здатності сил на його утворення (які дорівнюють “трудовитратам” сил СЗОКІ NS за час їх застосування TS за дією управління використання інформаційного ресурсу IS) [1].

Встає питання у об’єктивному порівнянні ефективності технічних рішень СЗОКІ і боротьби з сучасними та перспективними засобами повітряного нападу з обґрунтуванням їх вартості.

Сталося так, що незалежна Україна отримала у спадок від Радянського Союзу разом із зенітним озброєнням і всі їх технічні недоліки щодо можливості ведення ефективної боротьби з сучасними засобами повітряного нападу на ОКІ, особливо малорозмірними. Робіт щодо модернізації цих комплексів та спрямованих на усунення цього недоліку проводилось недостатньо. Аналіз характеристик зенітних комплексів протиповітряної оборони провідних країн світу показує, що багато різноманітних заявлених комплексів протиповітряної оборони нібито здатні вражати як БПЛА, так і крилаті ракети “повітря-земля”, літаки, вертольоти.

Висновки

В статті запропоновано представити систему захисту об’єктів критичної інфраструктури у вигляді складної системи, що може оцінюватися за критерієм “ефективність-вартість”. Для вирішення проблеми боротьби з міні та мікро класу БПЛА можна провести наступні заходи:

розробка спеціалізованих автоматизованих СЗОКІ, що включають до свого складу інтегровану систему оброблення інформації і управління та використовує у якості складових пеленгатори

випромінювань, РЛС огляду і виявлення БПЛА, РЛС супроводження БПЛА і наведення засобів ураження;

формування багато-ешелонованого угруповання з різних типів зенітних комплексів, таких як ЗРК, ЗАК, ЗГРК, ПЗРК, мобільні вогневі групи ППО, що мають досить високі розвідувальні та вогневі можливості щодо виявлення та вогневого ураження;

розробка та застосування у складі існуючих ЗРК, ЗАК, ЗГРК додаткових каналів виявлення та супроводження цілей з метою ведення ефективної боротьби саме з малорозмірними БПЛА;

застосування вертольотів, обладнаних оптико-електронними системами та прожекторами, для боротьби з ударними БПЛА;

застосування бойових легкомоторних літаків для боротьби з ударними БПЛА;

розробка перспективних зразків ЗРК, ЗАК, ЗГРК спроможних вести боротьбу з широким колом цілей, як з літальними апаратами, виготовленими за технологією “Стелс”, так і малорозмірними БПЛА;

застосування антидронів з FPV управлінням та польовим покриттям навколо ОКІ;

застосування комплексу засобів щодо радіоелектронного придушення каналів управління, розвідки та бойового застосування БПЛА;

розробка спеціалізованих засобів та комплексів боротьби з малорозмірними міні та мікро БПЛА, які застосовують нетрадиційні принципи боротьби (сітки, “відьмине волосся”, аеростатичні засоби і т.ін.).

Для досягнення високої ефективності системи розвідки засобів повітряного нападу вважають, що немаловажним є виконання комплексу організаційно-тактичних заходів:

частіша зміна позицій радіолокаційних станцій (РЛС) і засобів радіозв'язку;

розгортання системи помилкових позицій з імітацією роботи радіоелектронних засобів;

проведення якісного інженерного обладнання позицій РЛС розвідки та зенітних комплексів;

інтенсивне застосування пасивних відбивачів-пасток, імітаторів теплового випромінювання;

розгортання біля позицій РЛС розвідки вогневих засобів ППО;

організація захисту засобів розвідки від дій диверсійних груп та інше.

Подальші дослідження планується проводити у напрямі розробки системи критеріїв для експертного оцінювання системи захисту об'єктів критичної інфраструктури, її стійкості та безперервності управління.

Список літератури

1. Чумаченко С.М., Кутовий О.П., Попель В.А., Гуйда О.Г., Заїка Н.В., Мурасов Р.К. Науково-методичний підхід щодо оцінювання безпеки критичної інфраструктури на основі комплексу засобів захисту її об'єктів від БПЛА і крилатих ракет. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 34 (73) № 1 2023. – С. 144-154
2. Макаренко С. И., Тимошенко А. В., Васильченко А. С. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Часть 1. Беспилотный летательный аппарат как объект обнаружения и поражения. Системы управления, связи и безопасности, №1, 2020. – С. 109-145.
3. Слободян М.Г., Можаява Е.И., Подстригаев А.С. Способы и средства противодействия беспилотным летательным аппаратам. Современные проблемы радиоэлектроники: сборник научных трудов. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. – С 46-50.
4. Семенец В.О., Трухин М.П. Способы противодействия беспилотным летательным аппаратам. Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 3. – С. 4-12.
5. Теодорович Н.Н., Строганова С.М., Абрамов П.С. Способы обнаружения и борьбы с малобаритными беспилотными летательными аппаратами. Интернет-журнал “Науковедение”. 2017. Т. 9. № 1. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/13TVN117.pdf>.
6. Cang Liang, Ning Cao, Xiaokai Lu, Youjie Ye. UAV Detection Using Continuous Wave Radar. 2018 IEEE International Conference on Information Communication and Signal Processing (ICICSP), 28-30 Sept. 2018, Singapore.
7. Sineglazov V.M. Complex structure of UAVs detection and identification. Electronics and Control Systems, 2015, no. 3 (45). – С. 28-32.
8. Igor Korobiichuk, Yuriy Danik, Oleksyj Samchysyn The estimation algorithm of operative capabilities of complex countermeasures to resist UAVs. Simulation: Transactions of the Society for Modeling and Simulation International, 7 August 2018, vol. 95, pp. 569–573.
9. Ергунов В.О., Ильин В.О., Некрасов М.И., Сосунов В.Г. Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов. Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2018. № 1-2 (115-116). – С. 51-58.
10. П. Б. Волотівський, О. В. Самойленко, П. М. Стешенко, П. А. Глушенко Погляди і перспективи створення системи протибезпілотної оборони, її роль та місце в системі протиповітряної оборони України. Журнал Наука і оборона. № 3. 2024. – С. 37-44
11. Мурасов Р.К., Невольніченко, А. І., Чумаченко, С. М., Михайлова, А. В., Пиріков, О. В. Моделювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій на об'єктах критичної інфраструктури з використанням методу системної динаміки, № 3. 2022: Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки, (3). – С. 88-99.

Відомості про авторів:

Чумаченко Сергій Миколайович

доктор технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-8894-4262>

Самойленко Олександр Валерійович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3088-3268>

Невзгляденко Юрій Олександрович

старший науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-6972-7871>

Information about the authors

Serhii Chumachenko

Doctor of Technical Sciences
Senior Researcher
Leading Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8894-4262>

Oleksiy Samoylenko

Candidate of Technical Sciences
Senior Researcher
Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3088-3268>

Yuriy Nevzgliadenko

Senior Researcher
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6972-7871>

SYSTEM APPROACH TO EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF THE SYSTEM OF PROTECTION OF CRITICAL INFRASTRUCTURE IN THE FACE OF COUNTERACTING THEIR DAMAGE BY AIR ATTACK

S. Chumachenko, O. Samoylenko, Y. Nevzgliadenko

The development of the scientific and technological revolution in the military sphere, which is actively continuing in the first half of the 3rd millennium, stimulates the search for effective ways of confrontation with more equipped in technical plan an opponent who widely uses the latest information technologies and means of defeat for attacks on critical infrastructure. In the face of combating armed aggression, the issues of developing critical infrastructure protection are of priority due to a significant potential threat to national security and defense. With the development of the principles of use of rocket and aviation means of defeat on objects of critical infrastructure, therefore, there is a development of protection systems that are able to counteract these means of damage.

Analysis of publications in the direction of counteraction to air attack shows that the sharp and diverse use of UAVs in modern hostilities, their rapid technological development has revealed the problem of effective control of them, especially with mini and micro UAVs, which is currently extremely complex, systematic, and systemic, and so far, it is not effectively resolved. These works, as a rule, do not discuss the military and technical aspect of evaluating technical solutions according to the criterion "Efficiency-value". It is believed that "efficiency" is the ability of the system to form a systemic effect, but this ability is quantitative.

The concept of efficiency, which can be used to determine the ratio of "efficiency-innovation" in evaluating perspective foreign and domestic systems of protection of critical infrastructure objects, is substantiated. The systemic features of a modern set of forces and means of protection of critical infrastructure, which are able to effectively counteract the UAV, winged and ballistic missiles, planning bombs and means of rocket launchers and other air assaults, have been analyzed.

According to the results of the publication, recommendations on a set of technical and organizational and tactical measures to protect critical infrastructure from air assault.

Keywords: critical infrastructure protection system, critical infrastructure, systematic approach, unmanned aerial vehicle, air assault, efficiency.