

Військово-технічні проблеми

УДК 355.9

Ю.М. Агафонов, С.М. Звиглянич, М.П. Ізюмський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

МОДЕЛІ ОЦІНКИ ДІЙ УДАРНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ

У статті розглянуті аналітична і імітаційна моделі оцінки дії ударних безпілотних літальних апаратів. Ці моделі дозволяють оцінити рішення, що приймаються при розробці вимог до ударних безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: ударний БПЛА, контрольована зона, підлітний час, СМО, імітаційна модель.

Вступ

Постановка проблеми. Сучасні погляди на ведення збройної боротьби передбачають широке застосування різних по своєму функціональному призначенню безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Нині безпілотні системи не лише доповнюють пілотовані платформи, але і починають виступати альтернативою останнім. Особлива роль при цьому відводиться ударним БПЛА, основним завданням яких на сьогодні є контроль певної території з метою знищення виявлених цілей. Створення нових ударних БПЛА вимагає вироблення відповідних вимог до них. Це робить актуальним завдання кількісної оцінки основних параметрів безпілотних систем, що розробляються.

Аналіз літератури. Питанням застосування БПЛА нині приділяється досить багато уваги [1, 2]. Розглядаються перспективи використання БПЛА, дається їх класифікація [3]. У [4] описується постановка задачі створення безпілотних апаратів, приводиться облік взаємовпливу умов бойових дій. При цьому слід зазначити, що кількісні оцінки досліджуваних процесів відсутні.

Метою статті є обґрунтування моделей, які дозволяють проводити кількісну оцінку основних вимог до ударних БПЛА, що розробляються.

Основний матеріал

Розглянемо наступну задачу. На місцевості є деяка область, в якій засобами розвідки виявляються цілі, які необхідно уразити. На межах цієї області баражує деяка кількість ударних БПЛА. При виявленні цілі БПЛА завдає по ній удару. Зробимо допущення - якщо на момент виявлення цілі усі БПЛА вже задіяні для завдання ударів, то по цій цілі удар не завдається. Час підльоту БПЛА до цілі визначає інтенсивність його дії по виявлених цілях. Цей час визначає межі області баражування і залежить від швидкості БПЛА.

Визначимо, як залежить імовірність ураження цілей, що виявлені засобами розвідки, від часу підльоту до них ударних БПЛА.

Введемо додаткові допущення. Вважатимемо, що БПЛА завжди готовий завдати удару по цілі, тобто, реальний боєзапас і його витрата не враховується. Процес виявлення цілей представимо як простий потік подій. Тоді це завдання можна звести до оцінки ефективності роботи n -канальної системи масового обслуговування (СМО) з відмовами (завдання Эрланга)[5], де каналом виступає ударний БПЛА. Оцінимо імовірність того, що заявка, яка поступила в систему, буде обслужена. У нашому випадку - виявлена цілі буде знищена.

Ця імовірність визначається як відносна пропускна спроможність системи

$$Q = 1 - \frac{\rho^n}{n!} P_0, \quad (1)$$

де $s = l/\mu$, l - інтенсивність виявлення цілей; μ - інтенсивність ураження виявлених цілей; n - число ударних БПЛА;

$$P_0 = \left(1 + \rho + \frac{\rho^2}{2!} + \dots + \frac{\rho^k}{k!} + \dots + \frac{\rho^n}{n!} \right)^{-1}$$

імовірність знаходження системи в вихідному положенні, тобто цілі, які необхідно уразити, не виявлені.

Нехай засобами розвідки за годину розкривається 20 цілей і до баражування притягується 3 ударних БПЛА. Для цього випадку на рис. 1 представлена залежність імовірності ураження виявлених цілей від підлітного часу БПЛА до цілі T_p .

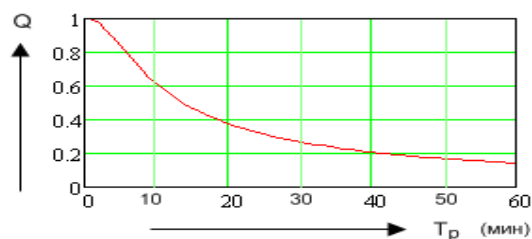


Рис. 1. Імовірність ураження цілі від T_p

Якщо виходити з існуючої вимоги до ВТЗ по забезпеченню ураження цілі з імовірністю не нижче 0.5, то підлітний час для даного випадку повинен складати не більше 15 хвилин.

Для забезпечення імовірності ураження 0.9 підлітний час має вже бути не більше 4 хвилин.

Представимо контрольовану зону у вигляді круга радіусу r (рис. 2, 3). Тоді, з урахуванням того, що час завдання удару по будь-якій виявленій цілі не повинен перевищувати T_p , можна ввести наступне обмеження для швидкості

$$V_{\text{бпла}} \geq \frac{2r}{T_p}. \quad (2)$$

Тепер знайдемо залежність радіусу контрольованої зони від швидкості ударного БПЛА з урахуванням заданої імовірності ураження.

$$r = \frac{V_{\text{бпла}} \cdot T_p}{120}, \quad (3)$$

де розмірність r – км, $V_{\text{бпла}}$ – км/год, T_p – хв.

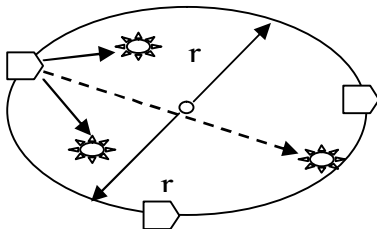


Рис. 2. Контрольована зона

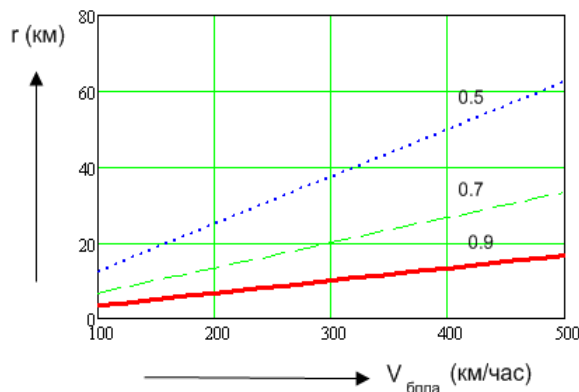


Рис. 3. Радіуси контрольованої зони

На графіку (рис. 3) видно, що зниження вимоги до імовірності ураження цілі дозволяє значно збільшити радіус контрольованої зони. Так, наприклад, для швидкості 300 км/год. радіус контрольованої зони з імовірністю ураження цілі 0.5 складає 37.5 км, що майже в два рази перевищує радіус зони ураження цілі з імовірністю 0.7 (20 км) і більш ніж в три рази – радіус зони ураження цілі з імовірністю 0.9 (10 км).

Ускладнимо задачу. Для кожного БПЛА визначимо, окрім швидкості підльоту до цілі, ще і наявний боєкомплект. Боєкомплект оцінюватимемо через число можливих ударів по виявлених цілях.

Тобто, якщо боєкомплект дорівнює 3, то це означає, що цей БПЛА може завдати удару по 3-х цілях. Вважатимемо, що усі БПЛА однотипні. При завданні удару цілі уражалася з деякою імовірністю, яку задаватимемо як вихідні дані. Як початкові дані визначимо також швидкість підльоту БПЛА до цілі, радіус контрольованої зони, час баражування.

Систему розвідки опишемо через інтенсивність виявлення цілей, тобто число цілей, що виявляються за годину ведення розвідки. Для виявлених цілей введемо час, впродовж якого вони можуть спостерігатися. По закінченню даного часу цілі становиться для БПЛА недоступною.

Зробимо допущення. Число виявлених цілей є випадкова величина, що розподілена за законом Пуассона, а випадкові інтервали часу між моментами розкриття цілей мають експоненціальний розподіл.

Виходячи із зробленого допущення, математичне сподівання числа виявлених цілей представляється як

$$m_{\text{wd}} = \mu \cdot T_{\text{б}}, \quad (4)$$

де μ – інтенсивність виявлення цілей, $T_{\text{б}}$ – час баражування.

Для кожної цілі визначимо час її розкриття, а також час, коли ця цілі стає недоступною (невидимою) для БПЛА. Функція розподілу для експоненціального закону має вигляд

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t}. \quad (5)$$

Час розкриття цілі визначимо таким чином [5]. Нехай R - випадкове число з інтервалу $[0; 1]$, тоді, якщо $R = F(t)$, отримаємо час виявлення (розкриття) цілі

$$t_{\text{об}} = -\mu^{-1} \ln(1 - R). \quad (6)$$

Відмітимо, що і час, через який цілі стає недоступною, є випадковим. Тому визначимо цей час для виявленої цілі як

$$t_{\text{кн}} = t_{\text{об}} + \rho, \quad (7)$$

де $t_{\text{кн}}$ – час кінця спостереження цілі, ρ - випадкове число з рівномірним законом розподілу, що лежить в інтервалі $[0, T_n]$, T_n – час спостереження цілі (задається як початкові дані).

По кожній виявленій цілі завдається удар. Для цього виділяється БПЛА, що на даний момент мають боєзапас. Максимальний час підльоту до цілі

$$T_{\text{п max}} = \frac{2r}{V_{\text{бпла}}}, \quad (8)$$

де r – радіус контрольованої зони; $V_{\text{бпла}}$ – швидкість підльоту БПЛА.

Удар завдається після виявлення цілі на протязі деякого випадкового часу. Час удару визначимо як

$$t_{\text{уд}} = t_{\text{об}} + \delta, \quad (9)$$

де $t_{\text{уд}}$ – час завдання удару; δ – випадковий час, що виражається числом з рівномірним законом розподілу, що лежить в інтервалі $[0, T_{\text{п max}}]$.

Процес ураження цілей ударними БПЛА представимо у вигляді імітаційної моделі, алгоритм якої, з урахуванням вище викладеного, представлений на рис. 4.

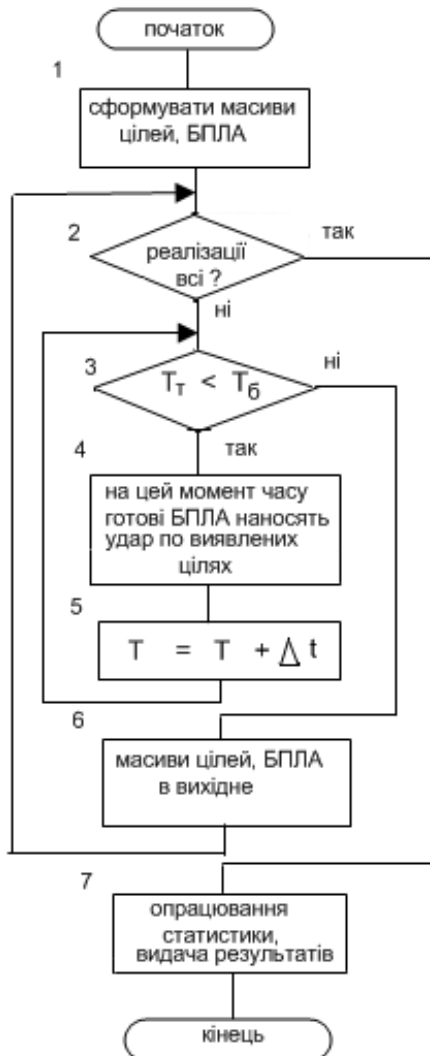


Рис. 4. Блок-схема алгоритму моделі

У блоці 1 формуються масив виявлених цілей і масив ударних БПЛА. Для кожної цілі створюється запис, який включає :

- номер запису;
- час виявлення цілі;
- час, до якого ціль спостерігається БПЛА;
- номер БПЛА, який атакуватиме цю ціль;
- лічильник числа уражень, в якому підсумовуються випадки ураження цілі в усіх заданих реалізаціях.

Для кожного БПЛА, у свою чергу, запис включає:

- номер БПЛА;
- боєзапас;
- імовірність ураження цілі;
- номер цілі, по якій наноситься удар;
- підлітний час до цілі.

У блоці 2 здійснюється перевірка виконання заданого числа реалізацій імітаційної моделі. При виконанні усіх реалізацій управління передається блоку 7.

У блоці 3 перевіряється ознака виконання однієї реалізації. Для цього проводиться порівняння поточного часу із заданим часом баражування. Якщо кінець часу баражування досягнутий, то управління передається блоку 6.

У блоці 4 (кінець часу баражування не настав) для усіх виявлених цілей на даний момент за умови підльоту відповідного БПЛА імітується удар методом жереба [1].

Обчислюється випадкове число Z з рівномірним законом розподілу в інтервалі $[0, 1]$. Якщо це число менше заданої імовірності ураження (рис. 5), то встановлюється факт ураження і збільшується значення лічильника ураження. Інакше реєструється промах.

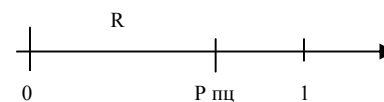


Рис. 5. Реалізація метода жеребу

Для цього БПЛА значення боєзапасу зменшується на одиницю. До удару по виявлених цілях притягуються тільки ті БПЛА, у яких не нульовий боєзапас.

У блоці 5 відбувається зміна поточного часу на крок приросту, що задається.

У блоці 6 після кожної реалізації записи, що характеризують виявлені цілі і БПЛА, приводяться в початковий стан.

У блоці 7 відбувається обробка отриманої статистики і видача результатів. Для кожної i -ої цілі знаходиться оцінка імовірності її ураження як

$$P_{\text{цц}}^i = \frac{S_{\text{цц}}^i}{N}, \quad (10)$$

де $S_{\text{цц}}^i$ – вміст лічильника підрахунку числа уражень, N – задане число реалізацій.

Введемо в розгляд для кожної цілі характеристичну змінну m^i .

$$m^i = \begin{cases} 1, & \text{з імовірністю } P_{\text{рц}}^i; \\ 0, & \text{з імовірністю } 1 - P_{\text{рц}}^i. \end{cases} \quad (11)$$

Математичне сподівання $M[m^i]$ чисельно рівно $P_{\text{рц}}^i$.

Тоді математичне сподівання суми таких змінних, що відображає математичне сподівання числа цілей W , що були уражені, дорівнює сумі $M[m^i]$:

$$M[W] = \sum_{i=1}^k P_{\text{рц}}^i. \quad (12)$$

Результатом роботи моделі є оцінки імовірності ураження цілей і математичне сподівання числа ці-

лей, що були уражені. Модель дає можливість визначити залежність між собою параметрів моделі. Це може бути використано як при аналізі існуючих систем ударних БПЛА, так і при визначенні вимог до основних характеристик тих БПЛА, що знову розробляються.

Нехай початковими даними є:

- кількість БПЛА – 3;
- боєзапас – 3;
- імовірність ураження цілі 0.7;
- швидкість БПЛА – 300 км/год;
- радіус контрольованої зони – 20 км;
- час баражування 5 год.;
- інтенсивність ведення розвідки – 2 цілі в годину;
- максимальний час можливого спостереження – 20 хвилин.

В якості прикладу проведемо аналіз залежності математичного сподівання числа цілей, що були уражені, від кількості ударних БПЛА, що застосовувались, і від їх швидкості (рис. 6).

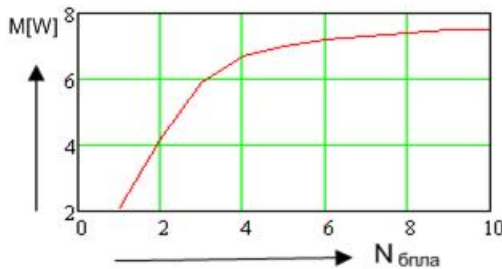


Рис. 6. Залежність $M[W]$ від кількості БПЛА

Виходячи з рис. 6, можна зробити висновок, що при заданих початкових даних раціональна кількість ударних БПЛА складає 5-6 одиниць. При цьому збільшенні швидкості для контрольованої зони з радіусом 20 км більше 400 – 450 км/год не доцільно (рис. 7).

Аналогічно визначаються і залежності між іншими параметрами моделі.

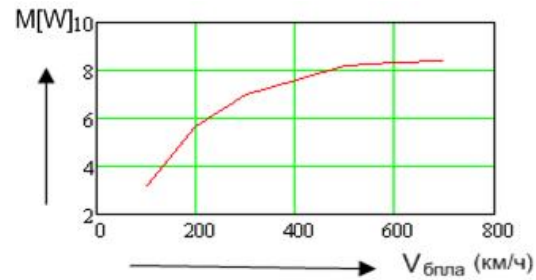


Рис. 7. Залежність $M[W]$ від швидкості БПЛА

Висновок

Приведені вище моделі дозволяють досить просто кількісно оцінити рішення, що приймаються, при розробці вимог до ударних БПЛА.

Список літератури

1. Чекунов Е. Применение БЛА ВС США в военных конфликтах / Е. Чекунов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 7. – С. 53-58.
2. Краснов А. БЛА: от разведки к боевым действиям / А. Краснов, А. Путилин // Зарубежное военное обозрение. – 2004. – № 5. – С. 42-49.
3. Блинов Ю. Перспективы развития беспилотной авиации в ведущих странах НАТО / Ю. Блинов // Зарубежное военное обозрение. – 2012. – № 12. – С. 54-58.
4. Казарьян Б.И. Беспилотные аппараты: цели, задачи, условия создания / Б.И. Казарьян // Военная мысль. – 2012. – № 2. – С. 17-23.
5. Таха Хемди А. Введение в исследование операций / Хемди А. Таха, 7-е изд.: пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2007. – 912 с.

Надійшла до редколегії 22.02.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. І.І. Обод, Харківський національний технічний університет «ХПІ», Харків.

МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЙ УДАРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ю.Н. Агафонов, С.Н. Звиглянич, Н.П. Изюмский

В статье рассмотрены аналитическая и имитационная модели оценки действия ударных беспилотных летательных аппаратов. Данные модели позволяют оценить принимаемые решения при разработке требований к ударным беспилотным летательным аппаратам.

Ключевые слова: ударный БПЛА, контролируемая зона, подлетное время, СМО, имитационная модель

THE MODELS OF ARMOURED EQUIPMENT DESTRUCTION BY USING SPECIAL COMBAT ELEMENTS

Yu.N. Agafonov, S.N. Zviglianich, N.P. Izyumskiy

The article considers models of armoured equipment destruction by special combat elements based on analytical and simulation methods of quantity assessment the results of their application.

Keywords: self-direction combat elements, homing combat elements, armoured equipment, cumulative and fragmentation combat elements