

УДК 629.7.016:681.3.06

**П.В. Фриз, к.т.н., доц.***Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Національного авіаційного університету***В.Ю. Богданов, пом. пров. інж.-випроб.***Державний науково-випробувальний центр ЗСУ, м. Феодосія***О.Ф. Дубина, к.т.н.***Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова  
Національного авіаційного університету*

## МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

*Проводиться аналіз сучасних поглядів і практичних підходів до визначення ролі інформації в сучасних воєнних конфліктах, показано особливе місце авіаційних засобів спостереження. Запропоновано математичний апарат до оцінювання їх ефективності.*

**Вступ. Постановка проблеми.** Загальновідомо, що у збройних конфліктах і локальних війнах нового сторіччя здобути перемогу зможе той, хто швидше збере багатопланові й постійно мінливі дані про хід бою, проаналізує їх, зробить об'єктивні висновки, прийме адекватне рішення і доведе його до підлеглих. При цьому, для гарантованої перемоги необхідно досягти *інформаційної переваги* над противником, що дозволить випереджати в оцінці швидкозмінливу обстановку на полі бою, ухвалювати правильні рішення та планувати хід воєнної операції [1].

**Аналіз сучасних воєнних конфліктів та огляд останніх досліджень і публікацій** [2–6] свідчить про те, що у теперішній час все більшої ваги набуває нова форма ведення бойових дій – повітряно-космічна операція. Але з'явилася можливість досягнення мети збройної боротьби за рахунок лише авіації, підкріпленої космічним угрупованням, без залучення (або при обмеженій участі) сухопутних військ. При цьому неодноразово була продемонстрована можливість виконувати авіацією закінчені за задумом воєнні операції, що, у свою чергу, визначали результати збройного конфлікту.

До участі у повітряно-космічних операціях залучається широкий спектр різних засобів, включаючи літаки повітряного спостереження та цілевказівки, зв'язкові та навігаційні штучні супутники Землі, а також бойові літаки. Усі ці засоби дають практично повну картину тактичної обстановки в регіоні можливого збройного конфлікту.

Однак дані, отримані за допомогою космічних засобів, а також апріорна інформація, зібрана завчасно іншими засобами, як правило, недостатні для ефективного проведення бойових дій. Отримана інформація найчастіше вимагає уточнення безпосередньо перед самим конфліктом і під час проведення бойових операцій.

У цьому випадку для збору уточненої інформації переважно використовують авіаційні інформаційні комплекси (АІК), на які покладається завдання оперативного збору відомостей про характеристики, погодні та кліматичні умови, характер і особливості місцевості театру воєнних дій (ТВД), кількість, стан та координати заданих об'єктів для ефективного рішення завдання цілерозподілу, а потім і знищення цих об'єктів [7].

У загальному випадку інформаційні засоби використовують в інтересах командування, що організовує операцію на ТВД. Вони повинні забезпечувати збір відомостей про широке коло об'єктів як військового, так і цивільного значення, у результаті чого повинен бути отриманий деякий образ реальної обстановки з метою ухвалення рішення на бойові дії [8].

Як бачимо із короткого аналізу, для ефективного виконання зазначених складних завдань необхідно застосовувати попереднє моделювання процесів, станів та явищ, що характерні повітряно-космічним операціям. Таке моделювання бойової обстановки за участю реальних літаків реалізовано в системі реєстрації й аналізу даних навчань MDS, що встановлена на полігоні Нелліс у США [9]. Дана система забезпечує точне відтворення картини бою, дозволяє зробити розрахунок оптимальних маршрутів, визначити склад сил і засобів, необхідних для подолання протиповітряної оборони (ППО) і виконання бойового завдання.

Проблема полягає в тому, що моделювання потребує формалізації процесів, станів та явищ на основі їх опису за допомогою математичного апарату аналітичними, логічними, логіко-аналітичними та іншими функціями. Математичний опис дій, що відбуваються на реальному ТВД, дозволив би оцінювати воєнну операцію на рівні випадкових елементарних подій (операцій), наприклад, таких, як виявлення, захоплення і знищення цілі. А оскільки випадкові елементарні події є складовими частинами реальних бойових дій, то сукупність їх результатів визначатиме кількісну величину показника ефективності бойових дій у цілому [10].

Щодо АІК, то ефективність таких засобів може оцінюватись збільшенням результативності бойових дій, що проводяться на основі доставленої інформації. Це можуть бути дані про кількість і координати різних об'єктів військового і стратегічного призначення, їхній стан і взаємне розміщення. Об'єкти можуть розташовуватися в різних районах заданої території.

Тому загальне завдання отримання інформації про протиборчу сторону, зазвичай, поділяється на ряд часткових завдань, кожне з яких вирішується різними авіаційними інформаційними групами (АІГ), що мають спеціальне устаткування [11]:

- а) пошук об'єктів як цілей для ураження;
- б) уточнення стану об'єктів, по яких нанесені удари (контрольне спостереження).

**Метою статті** є розробка або вибір математичного апарату для формалізованого опису зазначених завдань для оцінювання ефективності авіаційних засобів спостереження.

**Виклад основного матеріалу.** Першим завданням АІГ є пошук об'єктів з метою їхнього подальшого знищення. Сутність цього завдання полягає в наступному: у заданий район направляється група, що складається з  $n_p$  літаків спостереження, котра якийсь час  $t_n$  перебуває в цьому районі й оглядає при цьому деяку площу  $S$ . У разі виявлення об'єкта, що перебуває на окресленій території, літак вимірює координати об'єкта з точністю  $\sigma_p$ , передає інформацію на командний пункт (КП) – і по об'єкту наноситься удар засобами ураження. Між моментами виявлення і ураження проходить деякий випадковий час:

$$T_{zn} = T_{oi} + T_{np} + T_{nl}, \tag{1}$$

де  $T_{oi}$  – час обробки і доставки інформації споживачеві;

$T_{np}$  – час на ухвалення рішення і підготовку удару;

$T_{nl}$  – час польоту засобів ураження до цілі.

Оскільки об'єкти протиборчої сторони можуть змінювати місце свого розташування, то удар може бути нанесеним із запізненням, навіть по залишеному місцю. Нехай імовірність того, що об'єкт виявлений і відомості про нього доставлені на КП, дорівнює  $P_o$ , умовна ймовірність того, що послані на об'єкт засоби ураження застали його на місці, –  $P_y$ , ймовірність ураження цілі за умови, що об'єкт у момент удару виявився на місці, –  $W_m$ . Тоді ймовірність ураження об'єкта з урахуванням результатів спостереження дорівнюватиме:

$$W_n^{(p)} = P_o P_y W_m. \tag{2}$$

Очевидно, що всі співмножники у формулі (2) залежать від можливостей АІГ. Наприклад, імовірність виявлення і надання відомостей  $P_o$  залежить від можливостей відповідних засобів; умовна ймовірність своєчасного удару  $P_y$  – від часу обробки і доставки інформації; умовна ймовірність ураження цілі  $W_m$  – від точності виміру її координат.

Таким чином, для оцінювання ефективності АІК при рішенні цього завдання необхідно розраховувати величини  $P_y$  та  $P_o$ .

Зокрема, імовірність виявлення і доставки відомостей про об'єкт  $P_o$  дорівнює добутку ймовірності того, що літак не буде збитий засобами ППО протиборчої сторони до моменту передачі інформації  $\overline{W}_{cb}(t_o)$ , та умовної ймовірності виявлення цілі за час перебування АІГ у районі розташування об'єкта  $W_{ob}(t_o)$ :

$$P_o = W_{ob}(t_o) \overline{W}_{cb}(t_o). \tag{3}$$

Імовірність своєчасного удару  $P_y$  дорівнює ймовірності того, що час, який минув з моменту виявлення об'єкта до моменту нанесення удару  $T_{zn}$ , визначений за формулою (1), виявиться меншим, ніж той, коли об'єкт ще буде перебувати на місці  $T_m$ :

$$P_y = P(T_{zn} < T_m). \tag{4}$$

Нехай  $f_{zn}(t)$  і  $f_m(t)$  – щільності розподілу випадкових величин  $T_{zn}$  та  $T_m$ . Тоді імовірність своєчасного удару матиме вигляд:

$$P_y = \int_0^{\infty} f_m(t) \int_0^t f_{zn}(\tau) d(\tau) d(t). \tag{5}$$

При працездатному стані заданого об'єкта (крім факту його ураження) має значення час його функціонування до моменту знищення засобами ураження. Наприклад, якщо об'єкт є мобільним комплексом балістичних ракет, здатних випускати  $\mu$  ракет в одиницю часу, то збитки, що їх може

завдати такий об'єкт нашим військам до моменту його ураження, можна вважати прямо пропорційними часу його функціонування.

Нехай тривалість розглянутої операції (рис. 1) дорівнює  $t_{on}$ , а випадковий час, що пройшов до нанесення удару по об'єкту, –  $T_{\phi}$  (вважатимемо, що час операції завжди більший, ніж необхідний для виявлення і нанесення удару по об'єкту).

Тоді збиток, якому вдалося запобігти у випадку, якщо об'єкт був уражений, дорівнює:

$$U_{np} = a(t_{on} - T_{\phi}). \tag{6}$$

Якщо об'єкт не був уражений, відвернений збиток дорівнює нулю. Отже, математичне очікування (МО) відверненого збитку дорівнює:

$$m_{u_{np}} = a(t_{on} - m_{t_{\phi}})W_u^{(p)} + 0(1 - W_u^{(p)}) = a(t_{on} - m_{t_{\phi}})W_u^{(p)}, \tag{7}$$

де  $m_{t_{\phi}}$  – умовне МО часу до нанесення удару по об'єкту за умови  $T_{\phi} < t_{on}$ .

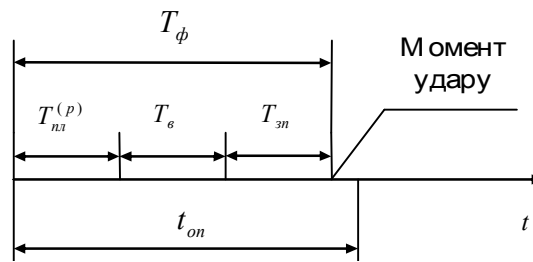


Рис. 1. Часові характеристики нанесення удару по об'єкту

Оскільки за умовою  $P(T_{\phi} < t_{on}) \cong 1$ , то  $m_{t_{\phi}}$  приблизно дорівнює безумовному МО часу, що проходить до нанесення удару по об'єкту. У цьому випадку:

$$m_{t_{\phi}} = m_{t_{ns}}^{(p)} + m_{t_e} + m_{t_{zn}}, \tag{8}$$

де  $m_{t_{ns}}^{(p)}$  – МО часу польоту літаків спостереження у район пошуку  $T_{nl}^{(p)}$ ;

$m_{t_e}$  – МО часу виявлення  $T_e$ ;

$m_{t_{zn}}$  – МО часу запізнення в нанесенні удару  $T_{zn}$ .

Підставивши (8) у (7), одержимо:

$$m_{u_{np}} = aW_u^{(p)}(t_{on} - m_{t_{ns}}^{(p)} - m_{t_e} - m_{t_{zn}}). \tag{9}$$

МО відверненого збитку може служити критерієм ефективності інформаційної системи при виконанні завдання пошуку об'єктів з метою їх наступного ураження. Для обчислення значення цього критерію необхідно визначити ймовірність ураження об'єкта з урахуванням його спостереження, МО часу польоту літаків у район пошуку, МО часу виявлення та МО часу запізнювання удару. Всі ці характеристики залежать від властивостей АІГ.

Другим важливим завданням, що виконують АІК, є контрольні спостереження результатів. Їх метою є з'ясування стану об'єктів, по яких нанесені удари, для того щоб вирішити питання, чи варто продовжувати обстріл.

Нехай по заданому об'єкту нанесений удар  $n$  засобами, у результаті чого об'єкт може виявитися в одному з  $k$  можливих станів із відповідною ймовірністю  $p_1^{(1)}, p_2^{(1)}, \dots, p_j^{(1)}, \dots, p_k^{(1)}$ . Із цих станів тільки  $m$  перших відповідають поставленому завданню ураження об'єкта, тому ймовірність виконання завдання ураження дорівнює:

$$W_u^{(1)} = \sum_{j=1}^m p_j^{(1)}. \tag{10}$$

Якщо повторити удар, то ймовірність ураження об'єкта зросте і дорівнюватиме:

$$W_u^{(2)} = \sum_{j=1}^m p_j^{(2)}. \tag{11}$$

Так можна діяти доти, доки ймовірність ураження не стане досить великою, коли можна бути практично впевненим, що завдання ураження виконане.

Можна діяти і по-іншому: після  $i$ -го удару послати до об'єкта літак спостереження, що з'ясує дійсний його стан. Якщо об'єкт виявиться ураженим, подальші удари можна припинити. Якщо ні, то по

об'єкту наноситься наступний удар таким числом засобів, що відповідає фактичному стану цілі. Таким чином, спостереження дає можливість заощадити деяку кількість засобів ураження.

Позначимо через  $X$  кількість заощаджених засобів у результаті застосування контрольного спостереження. Нехай загальна кількість ударів, необхідна для досягнення заданої ймовірності ураження цілі, дорівнює  $r^*$ , загальна кількість, витрачених засобів без застосування спостереження –  $nr^*$ .

Якщо після  $i$ -го удару застосувати контрольне спостереження, то з ймовірністю, рівною ймовірності ураження цілі після  $i$ -го удару, літак спостереження повідомить, що ціль уражена (припускаємо, що це достовірні відомості) і подальші удари можна припинити. Випадкова величина  $X$  прийме значення  $(r^* - i)n$ . У протилежному випадку  $X$  прийме значення, рівне нулю. Таким чином, умовне МО заощаджених засобів ураження дорівнює:

$$m_x = M[X] = (r^* - i)nW_u^{(i)}. \quad (12)$$

Із виразу (12) видно, що величина  $m_x$  має таке ж положення максимуму, як і функція  $W_u^{(i)}$ . У найпростішому випадку, коли об'єкт може перебувати тільки в одному із двох станів – уражений або не уражений, формула (12) набуває вигляду:

$$m_x = (r^* - i)n[1 - (1 - p)^i], \quad (13)$$

де  $p$  – ймовірність ураження об'єкта одним ударом.

Положення максимуму функції (13) залежить від значень  $r^*$  та  $p$ . Практично, якщо ймовірність ураження в одному ударі перевищує 0,3, а загальна кількість ударів  $r^*$  планується з розрахунку досягнення ймовірності ураження цілі 0,8, то максимум функції відповідає значенню  $i=1$ , тобто контрольне спостереження варто проводити після нанесення першого удару. При цьому  $r^* \leq 4$ , а економія засобів дорівнює  $n(r^* - 1)p$ .

У цьому випадку властивості АІК проявляються опосередкованим чином. Саме для того, щоб АІК надавав достовірні відомості щодо стану об'єкта, необхідний відповідний склад АІГ, що виконує це завдання. Для визначення потрібного складу сил слід побудувати залежність ймовірності виконання завдання АІГ, задатися необхідною ймовірністю виконання завдання  $W^{(p)}$  і одержати значення відповідного складу АІГ –  $n_p^*$ , здатної його виконати із заданою ймовірністю.

**Висновки.** Знаючи властивості та характеристики АІГ, величини, що характеризують об'єкт ураження, за допомогою представленого математичного апарату можна розрахувати критерії ефективності АІК, та ймовірність ураження заданих об'єктів. Дані величини можуть бути показниками ефективності при розробці та проведенні бойових операцій.

Запропонований математичний апарат можна частково реалізувати на борту літаків четвертого покоління, що знаходяться на озброєнні Військово-повітряних сил України, з подальшою перспективою нарощування обсягів вирішуваних завдань у рамках створення системи підтримки прийняття рішень. У теперішній час в Росії розроблено подібну інформаційно-аналітичну систему реального часу “Журавель” [12]. Особливістю її є використання дистанційного контролю в реальному часі, а також наявність спеціального радіоканалу обміну з наземними пунктами обробки.

Наявність достовірних даних про територію, рельєф місцевості, завчасно добутих різними видами спостереження, дозволяє проводити тренування особового складу, максимально наближені до бойової обстановки на ТВД. У перспективі для зменшення габаритів і збільшення швидкодії можливе створення бортових комп'ютерних аналітичних систем. Концепція використання бойової системи з декількох літаків, зв'язаних між собою сукупністю інформаційних каналів, закладена при створенні літака п'ятого покоління F-35A [13]. При цьому розглядається посилення інформаційної інтеграції як елемента літака в загальній системі, так і систем технічної експлуатації, без яких авіація функціонувати не може.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Геоинформационное обеспечение ВС США [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pentagonus.ucoz.ru/publ/11-1-0-102>.
2. Анализ мероприятий оперативной подготовки США и НАТО в 1998–2002 гг. на Европейском театре военных действий [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://army.lv/ru/Analiz-meropriyatiy-operativnoy-podgotovki-SShA-i-NATO-v-1998-2002-gg.-na-Evropeyskom-teatre-voennih-deystviy/2635/4242>.
3. Сетевые войны XXI века [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://army.lv/ru/Setevie-voyni-XXI-veka/2636/4268>.
4. Военная авиация России в XXI веке: адекватно ответит на вызов времени [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://interlibrary.narod.ru/GenCat/-GenCat.Tech.Dep/GenCatAir/900000003/900000003.htm>.

5. Дискуссия в США: роль ВВС в современной войне [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://pentagonus.ru/publ/materialy\\_posvjashheny/2000\\_nastojashhij\\_moment/diskussija\\_v\\_ssha\\_rol\\_v\\_vs\\_v\\_sovremennoj\\_vojne/122-1-0-1470](http://pentagonus.ru/publ/materialy_posvjashheny/2000_nastojashhij_moment/diskussija_v_ssha_rol_v_vs_v_sovremennoj_vojne/122-1-0-1470).
6. США: использование космоса в военных целях [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://pentagonus.ru/publ/19-1-0-176>.
7. *Кондратьев А.* Реализация концепции "Сетецентрическая война" в ВВС США / *А.Кондратьев* // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – № 5. – С. 44–49.
8. *Мильграм Ю.Г.* Исследование операций и алгоритмизация боевых действий / *Ю.Г. Мильграм*. – К. : ВВИА, 1968. – 412 с.
9. Подготовка летного состава ВВС многонациональных сил к операции "Бура в пустыне" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://combatavia.info/razvl68.html>.
10. Об оценке достоверности результатов моделирования боевых действий (операции) объединения ВВС [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.mil.ru/files/Egorov\(60-68\).pdf](http://www.mil.ru/files/Egorov(60-68).pdf).
11. *Мильграм Ю.Г.* Боевая эффективность авиационной техники и исследование операций / *Ю.Г. Мильграм, И.С. Попов*. – К. : ВВИА, 1971. – 500 с.
12. Бортовые информационно-аналитические вычислительные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://aviaavtomatika.ru/production/002/004/>.
13. *Совенко А.* F-35 как элемент боевой системы будущего. Авиация и время / *А.Совенко*. – 2007. – № 2. – С. 42–44.

ФРИЗ Петро Васильович – заслуженный працівник освіти України, кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри Житомирського військового інститут ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання процесів у складних технічних системах.

Тел.: (0412)25–14–88.

E-mail: [fpv43@rambler.ru](mailto:fpv43@rambler.ru)

БОГДАНОВ Віталій Юрійович – помічник провідного інженера-випробувача Державного науково-випробувального центру ЗСУ, м. Феодосія.

Наукові інтереси:

– моделювання процесів у складних технічних системах.

Тел.: (0632)26–77–92.

E-mail: [vitaliynew@mail.ru](mailto:vitaliynew@mail.ru)

ДУБИНА Олександр Федорович – кандидат технічних наук, начальник факультету Житомирського військового інститут ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– моделювання процесів у складних технічних системах.

Подано 05.10.2010

**Фриз П.В., Богданов В.Ю., Дубина О.Ф.** Математичний апарат для оцінювання ефективності авіаційних засобів спостереження

**Фриз П.В., Богданов В.Ю., Дубина О.Ф.** Математический аппарат для оценивания эффективности авиационных средств наблюдения

**Fryz P.V., Bogdanov V.Y., Dubina O.F.** Mathematical instrument for evaluation of efficiency of aviation facilities of observation

УДК 629.7.016:681.3.06

**Математический аппарат для оценивания эффективности авиационных средств наблюдения / П.В. Фриз, В.Ю. Богданов, О.Ф. Дубина**

Приводится анализ современных взглядов и практических подходов к определению роли информации в современных военных конфликтах, показано особое место авиационных средств наблюдения, предложен математический аппарат для оценивания их эффективности.

**Mathematical instrument for evaluation of efficiency of aviation facilities of observation / P.V. Fryz, V.Y. Bogdanov, O.F. Dubina**

An analysis over of modern looks and practical going is brought near determination of role of information in modern soldiery conflicts, the special place of aviation of observation shown, mathematical instrument for evaluation of efficiency of aviation facilities is offered.