

УДК 519.8

В.Ф. Греков, А.А. Пьянков, Ю.А. Ткаченко

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ СТРІЛЬБИ РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ З УРАХУВАННЯМ НАДІЙНОСТІ ОЗБРОЄННЯ І ПРОТИДІЇ ПРОТИВНИКА

Розроблена методика, яка дозволяє досліджувати вплив характеристик ракетного комплексу (РК) на ефективність стрільби з урахуванням надійності озброєння і протидії противника.

**Ключові слова:** ракетний комплекс, ефективність, надійність озброєння, протидія противника.

### Вступ

Визначення ефективності ракетних ударів має науковий і практичний інтерес при плануванні ракетних ударів і при визначенні тактико-технічних вимог до перспективних РК [1].

В останніх роботах за даною тематикою переважно розглядається створення і застосування імітаційних моделей та забезпечення адекватності і вірогідності результатів моделювання. Підвищення адекватності імітаційної моделі часто вимагає її значного ускладнення [2, 3], що може привести до затрат на розробку моделі, які перевищують цінність результатів, отриманих при її застосуванні. Враховуючи низьку точність вихідних даних, у деяких випадках доцільно застосовувати аналітичні методи.

### Основний розділ

В роботі пропонується аналітико-стохастичний спосіб розв'язання задачі оцінювання ефективності ракетних ударів з урахуванням надійності озброєння та протидії противника. Ракетним комплексом будемо вважати сукупність ракети і наземного стартового обладнання, що призначене для пуску ракет і керування її польотом. Необхідно оцінити ефективність ракетного удару РК. Оцінюється ефективність стрільби РК за таких умов:

– рухомі РКа і РКв протидіючих сторін А і В знаходяться у районах зосередження;

– сторона А отримує завдання уразити ціль, для виконання якого РКа повинен зайняти стартову позицію (СП), провести підготовку і уразити ціль одним пуском ракети;

– сторона В за даними розвідки ставить задачу РКв зайняти СП, провести підготовку пуску ракет та нанести удар по РКа;

– протидія стороні В відсутня, що відповідає найгіршому випадку для сторони А.

Як критерій ефективності виконання бойової задачі РКа оберемо імовірність  $P_{УЦа}$  ураження цілі:

$$P_{УЦа} = P_{Па} \cdot P_{Ка} \cdot P_{1а}, \quad (1)$$

де  $P_{Па}$  – імовірність проведення пуску РК до ураження вогнем противника;  $P_{Ка}$  – імовірність безвідмовного функціонування РК під час старту і знахо-

дження ракети на траєкторії;  $P_{1а}$  – умовна вірогідність ураження цілі при умові, що усі елементи РК функціонують безвідмовно.

Фактори, що впливають на величину  $P_{1а}$ , і методика її розрахунку розглянуті у [4].

Імовірність  $P_{Ка}$  характеризує технічну надійність РК під час пуску ракети:

$$P_{Ка} = P_{НСОа} \cdot P_{НСа} \cdot P_{НПа}, \quad (2)$$

де  $P_{НСОа}$  – імовірність безвідмовного функціонування наземного стартового обладнання;  $P_{НСа}$  – імовірність відсутності відмов під час старту (нормальний старт);  $P_{НПа}$  – імовірність відсутності відмов ракети під час польоту на траєкторії і у цілі.

Імовірність  $P_{Па}$  характеризує готовність РКа до нанесення удару. Вона залежить від технічної надійності РКа до пуску, від інтенсивності розвідки противника і від характеристик його озброєння.

Технічна надійність РК характеризується показниками:  $t_{Па}$  – тривалістю підготовки РКа до пуску ракети без відмови на СП;  $P_{СПа}$  – імовірністю відсутності відмов РКа на СП;  $\mu_a$  – інтенсивністю затримок підготовки комплексу РКв;  $t_{3а}$  – часом затримки підготовки РКа під час появи відмов на СП (випадковий час для пошуку та усунення відмов);  $t_{Па}$  – часом нормальної підготовки РКа до пуску.

У першому наближенні функцію розподілу випадкової величини  $t$  можна вважати експоненційною. Тоді імовірність того, що затримка підготовки комплексу не буде перевищувати  $\tau$ , дорівнює

$$P(\tau_a) = P(t_a \leq \tau_a) = 1 - (1 - P_{СПа})e^{-\mu_a \cdot \tau_a}, \quad \tau_a \geq 0, \quad (3)$$

де  $\mu_a$  – характеристика інтенсивності затримок підготовки до пуску.

Сторона В веде розвідку РКа. Прийнемо експоненційну залежність імовірності  $P_0(T)$  виявлення противником нашого комплексу від часу  $T$  а його перебування на СП [5]

$$P_0(T_a) = P(t_r \leq T_a) = 1 - e^{-\gamma \cdot T_a}, \quad (4)$$

де  $\gamma$  – характеристика інтенсивності розвідки противника;  $t_r = 1/\gamma$  – витрати часу на виявлення РКа, що має відлік від часу прибуття РКа на СП.

Противник використовує РКв, що має такі характеристики:  $P_{Кв}$  – імовірність безвідмовного функціонування РКв під час старту і знаходження ракети на траєкторії;  $P_{Ів}$  – умовна вірогідність ураження цілі при умові, що усі елементи РКв функціонують безвідмовно;  $P_{СПв}$  – імовірністю відсутності відмов РКв на СП;  $t_{НПв}$  – тривалістю нормальної підготовки РКв до пуску ракети без відмови на СП;  $\mu_v$  – інтенсивність затримок підготовки комплексу РКв;  $t_{Зв} = 1/\mu_v$  – час затримок підготовки комплексу РКв.

Знайдемо імовірність  $P_{Па}$  проведення пуску ракети РКа до його ураження вогнем противника. Позначимо як  $P_{НПа}$  імовірність того, що РКа зробить пуск раніше, ніж пуск зробить РКв.

У випадку  $P_a$ , коли РКа стріляє раніш за противника імовірність того, що РКа зробить пуск раніше, ніж сам буде уражений

$$P_{нпа} = 1, \tag{5}$$

де  $P_{нпа}$  – імовірність пуску нормального за умовою першого пуску стороною а.

У випадку  $P_b$ , коли РКв стріляє раніш нашого комплексу, імовірність того, що наш комплекс зробить пуск раніше, ніж сам буде уражений

$$P_{нпв} = 1 - P_{Кв} \cdot P_{Ів}, \tag{6}$$

де  $P_{нпв}$  – імовірність пуску нормального за умовою першого пуску РКв.

Імовірність  $P_{Па}$  визначається у відповідності до теореми повної імовірності

$$P_{Па} = P_a \cdot P_{нпа} + P_b \cdot P_{нпв} = P_{НПа} + (1 - P_{НПа})(1 - P_{Кв} \cdot P_{Ів}). \tag{7}$$

Знайдемо імовірність  $P_{НПа}$  того, що РКа зробить постріл раніш, ніж постріл зробить РКв, тобто випередить противника. Можливі два випадки.

У першому випадку  $P_{СПв} = 1$ . Сторона В може провести пуск ракети без випадкових затримок через термін  $t_{Пв}$  після виявлення РКа. У термін  $t_{Пв}$  включається час польоту ракети сторони В.

РКа виходить на СП у момент  $t = 0$  і може провести пуск ракети в момент  $t_a + t_{Па}$ . Противник виявляє комплекс у момент  $t_r$  і може провести пуск в момент  $t_{Пв} + t_r$ . Величини  $t_a$  і  $t_{Па}$  підпорядковуються рівнянням (3) і (4) відповідно.  $P_{НПа}$  - це імовірність того, що  $t_{Па} + t_a < t_{Пв} + t_r$  або  $t_a < t_r + t_{Пв} - t_{Па}$ . Якщо  $t_r$  фіксовано, то згідно із (3)

$$P(t_a < t_r + t_{Пв} - t_{Па}) = 1 - (1 - P_{СПа})e^{-\mu_a(t_r + t_{Пв} - t_{Па})}, \tag{8}$$

Рівняння (8) справедливе, коли

$$t_r + t_{Пв} - t_{Па} \geq 0. \tag{9}$$

$$\text{Означимо } t_{Па} - t_{Пв} = \Delta \tag{10}$$

З урахуванням (9) маємо

$$t_r \geq \Delta. \tag{11}$$

Імовірність виявлення противником нашого РК у проміжку часу від  $t_r$  до  $t_r + dt_r$  визначаємо диференціюючи (4) по Т

$$\frac{d(1 - e^{-r \cdot T})}{dT} = r \cdot e^{-r \cdot t_r} dt_r. \tag{12}$$

За теоремою про повну імовірність з урахуванням (8) і (12), коли  $\Delta \geq 0$

$$P_{НПа} = \int_{\Delta}^{\infty} r e^{-r \cdot t_r} [1 - (1 - P_{СПа})e^{-\mu_a(t_r - \Delta)}] dt_r = e^{-r \cdot \Delta} \cdot \frac{\mu_a + r \cdot P_{СПа}}{r + \mu_a}. \tag{13}$$

Якщо  $\Delta \leq 0$  слід замінити нижню границю інтегралу (13) на 0, тоді

$$P_{НПа} = \int_0^{\infty} r e^{-r \cdot t_r} [1 - (1 - P_{СПа})e^{-\mu_a(t_r - \Delta)}] dt_r = 1 - e^{\mu_a \cdot \Delta} \frac{r \cdot (1 - P_{СПа})}{r + \mu_a}. \tag{14}$$

Другий випадок. Якщо  $P_{СПв} \neq 1$ , а  $\Delta \leq 0$  підготовка до пуску РКв може відбуватися без затримки з імовірністю  $P_{СПв}$ . Імовірність того, що РКа здійснить пуск раніше за РКв визначається рівнянням (14). Підготовка до пуску РКв з імовірністю  $1 - P_{СПв}$  може відбуватися із затримкою. В такому разі скориставшись теоремою про повну імовірність і означивши імовірність того, що РКа здійснить пуск раніше противника як  $P_{пнп2}$  можна визначити

$$P_{НПа} = P_{СПв} [1 - \frac{r(1 - P_{СПа})}{r + \mu_a} e^{\Delta \cdot \mu_a}] + (1 - P_{СПв}) \cdot P_{пнп2}. \tag{15}$$

Визначимо  $P_{пнп2}$ . Сторона В може здійснити пуск у випадковий момент часу

$$t_v = t_r + t_b + t_{Пв}, \tag{16}$$

де  $t_r$  – випадковий термін до виявлення нашого РК;  $t_b$  – випадковий термін затримки підготовки РКв із умовною щільністю імовірності

$$f(t_b) = \mu_b \cdot e^{-\mu_b \cdot t_b}. \tag{17}$$

$$\text{Означимо } t_{yb} = t_r + t_b. \tag{18}$$

Щільність імовірності  $t_u$  знайдемо, як композицію щільностей (12) і (17) у вигляді

$$f(t_{yb}) = \frac{r \cdot \mu_b}{\mu_b - r} \cdot (e^{-r \cdot t_y} - e^{-\mu_b \cdot t_y}) \tag{19}$$

$P_{пнп2}$  є імовірністю того, що  $(t_{Па} + t_a < t_{yb} + t_{Пв})$ , або  $t_a < t_{yb} + t_{Пв} - t_{Па} = t_{yb} - \Delta$ .

З рівняння (3) слідує, що

$$P(t_a < \Delta) = 1 - (1 - P_{СПа})e^{-\mu_a \cdot (t_{yb} - \Delta)}. \tag{20}$$

За теоремою про повну імовірність з урахуванням (19) і (20) знаходимо

$$P_{\text{ППП2}} = \int_0^{\infty} \left( \frac{r \cdot \mu_B}{\mu_B - r} \cdot (e^{-r \cdot t_{\text{ув}}} - e^{-\mu_B \cdot t_{\text{ув}}}) \times \left( 1 - (1 - P_{\text{СПа}}) e^{-\mu_a \cdot (t_{\text{ув}} - \Delta)} \right) \right) du = \quad (21)$$

$$= 1 - (1 - P_{\text{СПа}}) \frac{r \cdot \mu_B \cdot e^{\Delta}}{\mu_B - r} \left( \frac{1}{r + \mu} - \frac{1}{\mu_B + \mu_a} \right).$$

Імовірність того, що РКа здійснить пуск раніше ніж пуск зробить сторона В знайдемо з рівнянь (21) і (15)

$$P_{\text{ППа}} = 1 - \frac{r \cdot (1 - P_{\text{СПа}}) (\mu_a \cdot P_{\text{СПВ}} + \mu_B)}{(r + \mu_a) \cdot (\mu_B + \mu_a)} e^{\mu_a \cdot \Delta} \quad (22)$$

З рівняння (7) отримаємо імовірність проведення пуску РКа до ураження вогнем противника.

Імовірність ураження цілі визначаємо після підстановки у рівняння (1) виразу щодо  $P_{\text{Па}}$ , а також значення  $P_{\text{Ка}}$  і  $P_{\text{Іа}}$ .

У якості прикладу визначимо імовірність ураження цілі РКа сторони А, якщо йому протистоїть аналогічний РКв сторони В. Вхідні дані наведені у табл. 1:

Таблиця 1

Вхідні дані

Імовірність безвідмовної дії РК	$P_{\text{Ка}} = 0,99$	$P_{\text{Кв}} = 0,99$
Умовна імовірність ураження цілі	$P_{\text{Іа}} = 0,95$	$P_{\text{Ів}} = 0,95$
Імовірність відсутності відмов на СП	$P_{\text{СПа}} = 0,9$	$P_{\text{СПВ}} = 0,9$
Тривалість нормальної підготовки РК на СП	$t_{\text{Па}} = t_{\text{Пв}}$	$\Delta = 0$
Інтенсивність затримок підготовки РК на СП	$\mu_a = 0,3$	$\mu_B = 0,3$
Інтенсивність розвідки противника	—	$r = 0,3$

Вихідні дані:

– імовірність того, що РКа зробить пуск раніш, ніж пуск зробить РКв

$$P_{\text{ППа}} = 1 - \frac{r \cdot (1 - P_{\text{СПа}}) (\mu_a \cdot P_{\text{СПВ}} + \mu_B)}{(r + \mu_a) \cdot (\mu_B + \mu_a)} e^{\mu_a \cdot \Delta} = 0,907;$$

– імовірність проведення пуску РКа до ураження вогнем противника

$$P_{\text{Па}} = P_{\text{ППа}} + (1 - P_{\text{ППа}}) (1 - P_{\text{Кв}} \cdot P_{\text{Ів}}) = 1 - \frac{(1 - P_{\text{СПа}}) \cdot (P_{\text{СПВ}} + \mu_B) \cdot r}{(\mu_B + \mu_a) \cdot (\mu_B + \mu_a)} \cdot e^{\mu_a \cdot \Delta} \cdot (P_{\text{Кв}} \cdot P_{\text{Ів}}) = 0,912.$$

– імовірність ураження завданої цілі ракетним комплексом РКа

$$P_{\text{УЦ}} = \left( 1 - \frac{(1 - P_{\text{СПа}}) \cdot (P_{\text{СПВ}} + \mu_B) \cdot r}{(\mu_B + \mu_a) \cdot (\mu_B + \mu_a)} \cdot e^{\mu_a \cdot \Delta} \times (P_{\text{Кв}} \cdot P_{\text{Ів}}) \right) \cdot P_{\text{Ка}} \cdot P_{\text{Іа}} = 0,858.$$

На рис. 1 зображена залежність імовірності ураження цілі від витрати часу  $t_r$  годин на виявленні РКа при інших рівних умовах, наданих у табл. 1.

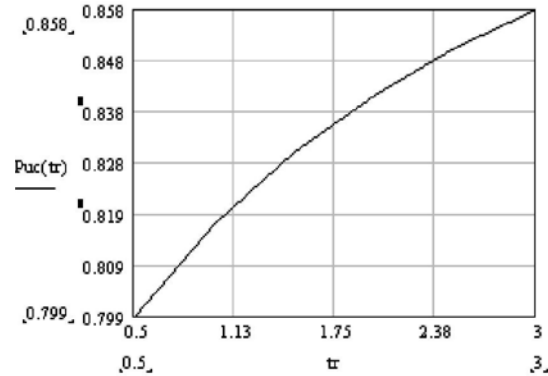


Рис. 1. Залежність  $P_{\text{УЦ}}$  імовірності ураження цілі від витрати часу  $t_r$

Залежність  $P_{\text{УЦ}}$  від середнього часу розвідки  $t_r$  до виявлення РКа і середнього часу  $x$  затримки його підготовки  $t_{3a}$  до пуску ракети на стартовій позиції представлена на рис. 2. Час вимірюється у годинах.

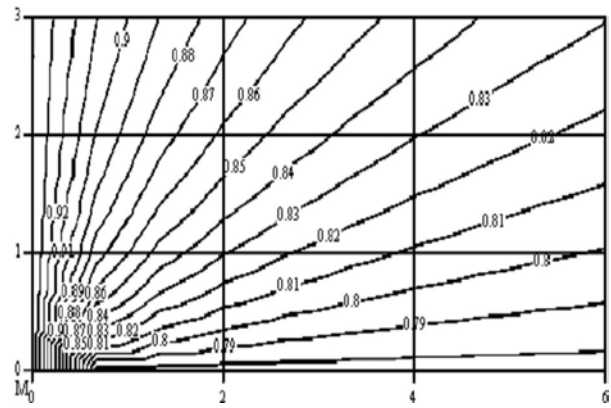


Рис. 2. Залежність  $P_{\text{УЦ}}$  від  $t_{3a}$  (вісь ординат) і  $t_r$  (вісь абсцис)

З рис. 2 видно, що із зменшенням  $t_r$  посилюється вплив  $t_{3a}$  на імовірність ураження цілі.

### Висновки

Задача оцінювання ефективності ракетного удару розв'язана у замкнутому вигляді з застосуванням відомого математичного апарату. Задіяні у розрахунках величини мають ясний фізичний смисл. Припущення про закони розподілу випадкових величин обґрунтовані [4 – 6] та не суттєво впливають на точність обчислень.

Розроблений спосіб дозволяє виявити вплив технічних характеристик комплексів та протидії противника на ефективність ракетних ударів та обґрунтовувати вимоги до тактико-технічних характеристик перспективних ракетних комплексів.

**Список літератури**

1. Стеценко О.О. Методологічні аспекти формування оперативно-стратегічних оперативно-тактичних вимог до перспективних систем озброєння Збройних Сил України / О.О. Стеценко, О.П. Ковтуненко, І.С. Цибулько // Наука і оборона. – 2001. – №4. – С. 47-54.
2. Сурмин Ю.П. Теория систем и системный анализ: уч. пособ. / Ю.П. Сурмин. – К.: МАУП, 2003. – С. 198-213.
3. Анфилатов В.С. Системный анализ и управление: уч. пособ. / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин. – М.: Финансы и статистика, 2002. – С. 43-61.

4. Кузнецов А.А. Оптимизация параметров баллистических ракет по эффективности / А.А. Кузнецов. – М.: Машиностроение, 1986. – 160 с.

5. Колодов И.М. Основы теории вероятности и математической статистики / И.М. Колодов. – М.: ВИА им. Ф.Э. Дзержинского, 1968. – 120 с.

6. Розанов Ю.А. Лекции по теории вероятностей / Ю.А. Розанов. – М.: Наука, 1986. – 120 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Х.В. Раковський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРЕЛЬБЫ РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА  
С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ВООРУЖЕНИЯ И ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ПРОТИВНИКА**

В.Ф. Греков, А.А. Пьянков, Ю.А. Ткаченко

Разработана методика, которая позволяет исследовать влияние характеристик ракетного комплекса (РК) на эффективность стрельбы с учетом надежности вооружения и противодействия противника.

**Ключевые слова:** ракетный комплекс, эффективность, надежность вооружения, противодействие противника.

**ESTIMATION OF EFFICIENCY OF FIRING OF ROCKET COMPLEX  
TAKING INTO ACCOUNT RELIABILITY OF ARMAMENT AND COUNTERACTION OF OPPONENT**

V.F. Greekov, A.A. P'yankov, Yu.A. Tkachenko

A method which allows to probe influence of descriptions of rocket complex (RK) on efficiency of firing taking into account reliability of armament and counteraction of opponent is developed.

**Keywords:** rocket complex, efficiency, reliability of armament, counteraction of opponent.

УДК 358.4:355.42

О.М. Жарик

Національний університет оборони України, Київ

**ПІДХІД ДО ВИЗНАЧЕННЯ БОЙОВИХ МОЖЛИВОСТЕЙ АВІАЦІЙНОГО УГРУПОВАННЯ**

Запропоновано підхід до визначення бойових можливостей авіаційного угруповання. Він дозволяє більш точно визначати бойові завдання авіаційного угруповання в сучасних операціях ЗС України та, за потреби, обґрунтовувати рекомендації щодо підвищення ефективності їх виконання в тих чи інших умовах обстановки.

**Ключові слова:** авіація, авіаційне угруповання, ефективність, операція, бойові можливості.

**Вступ**

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Аналіз функціонування авіаційного угруповання ПС ЗС України зразка 2011 року, визначеного у Державній програмі розвитку ЗС України на 2006 – 2011 роки [1], вказує на невідповідність між завданнями, що стоять перед ПС ЗС України, та їх чисельністю. Даний стан справ не забезпечує в повній мірі задоволення визначених потреб стосовно норм ураження повітряних цілей, наземних об'єктів, винищувального супроводження ударної авіації та ведення повітряної розвідки. Тому є необхідним провести аналіз бойових можливостей авіаційного угруповання Збройних Сил України з використанням певного методичного апарату, що і обумовлює актуальність вказаної статті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз локальних війн і збройних конфліктів кінця ХХ – початку ХХІ століть [2 – 5] свідчить, що на сьогодні авіаційному угрупованню належить прові-

дна роль в забезпеченні стратегічного перекидання сил і засобів в райони проведення операцій, стратегічному розгортанні угруповань збройних сил, проведенні довготривалих авіаційно-ракетних ударів по об'єктах системи державного і військового управління, економіки, угрупованням військ (сил), завоюванні переваги у повітрі, ізоляції району бойових дій. Проте, питання дослідження бойових можливостей авіаційної компоненти на сьогодні вивчене не достатньо повно. Тому, метою даної статті є висвітлення підходу до визначення бойових можливостей авіаційного угруповання.

**Основна частина**

У перспективній структурі Повітряних Сил ЗС України передбачається мати [1]: тактичну авіацію (винищувальну, штурмову, бомбардувальну та розвідувальну бойову авіацію) та транспортну авіацію. Зрозуміло, що можливості угруповання військ, які

приймають участь у повітряній операції, визначаються складом цього угруповання.

При цьому, бойові можливості авіаційного угруповання зручно розглядати у вигляді сумарного бойового потенціалу відповідного угруповання авіації без врахування таких факторів, як організація тилового забезпечення та стан системи управління військами (силами) [6]:

$$BP = \sum_{i=1}^{N_3} \gamma_i \cdot \sum_{j=1}^{N_L} n_j k_{ij} K_i^{розв} K_i^{PEB}, \quad (1)$$

де  $\gamma_i$  – ваговий коефіцієнт і-го бойового завдання, що покладається на авіаційне угруповання;  $N_3$  – кількість бойових завдань;  $n_j$  – кількість бойових літаків j-го типу;  $N_L$  – кількість типів літаків, що складають авіаційне угруповання;  $k_{ij}$  – коефіцієнт бойового потенціалу літака j-го типу при виконанні і-го бойового завдання (відношення потрібних бойових нарядів літаків, що розглядаються, та літаків-еталонів при виконанні відповідного бойового завдання);  $K_i^{розв} K_i^{PEB}$  – коефіцієнти забезпеченості авіаційного угруповання засобами розвідки та радіоелектронної боротьби при виконанні їм і-го бойового завдання.

З урахуванням (1), наявний бойовий потенціал авіаційного угруповання ПС ЗС України щодо знищення повітряних цілей та винищувального прикриття ударної авіації буде складати

$$N_{МіГ-29} \cdot K_{БП_{МіГ-29}}^П + N_{Су-27} \cdot K_{БП_{Су-27}}^П,$$

а бойовий потенціал ударного авіаційного угруповання ПС ЗС України зразка 2011 року щодо ураження наземних цілей –

$$N_{Су-25} \cdot K_{БП_{Су-25}}^H + N_{Су-24} \cdot K_{БП_{Су-24}}^H.$$

Зрозуміло, що підвищення бойового потенціалу авіаційного угруповання можливо за рахунок такого: збільшення кількості ОВТ; проведення глибокої їх модернізації; закупівлі нових сучасних зразків ОВТ; зменшення своїх втрат під час проведення операції. Виходячи із зазначеного, доцільно спрогнозувати рівень бойового потенціалу авіаційного угруповання за допомогою наступного диференційного рівняння [6]:

$$\frac{dBП}{dt} = -\alpha(t) \cdot BP(t) + \beta(t) \cdot R(t), \quad (2)$$

де  $\alpha(t), \beta(t)$  – мінливі за часом коефіцієнти швидкості втрати бойового потенціалу та ефективності вкладення ресурсів в його підвищення, відповідно;  $R(t)$  – вектор обсягів відповідних ресурсів, що витрачаються для підвищення (підтримання) бойового потенціалу угруповання.

Оцінку відповідності бойових можливостей авіаційного угруповання виконувемим завданням в операції можливо здійснити, порівнюючи потрібний та наявний кількісний склад бойових літаків.

Потрібний кількісний склад авіаційного угруповання може бути визначений вектором з компонентами  $\|N_{потр}^{H. макс}, N_{потр}^{П. макс}, N_{потр}^{P. макс}\|$ , які є максимальними потрібними бойовими потенціалами угруповання з усього кола завдань щодо ураження наземних об'єктів ( $N_{потр}^{H. макс}$ ), знищення повітряних цілей ( $N_{потр}^{П. макс}$ ) та ведення повітряної розвідки ( $N_{потр}^{P. макс}$ ), тобто:

$$N_{потр}^{H. макс} = \max(N_{потр.1}^H, N_{потр.2}^H, \dots, N_{потр.N_H}^H);$$

$$N_{потр}^{П. макс} = \max(N_{потр.1}^П, N_{потр.2}^П, \dots, N_{потр.N_P}^П);$$

$$N_{потр}^{P. макс} = \max(N_{потр.1}^P, N_{потр.2}^P, \dots, N_{потр.N_P}^P).$$

де  $N_{потр.i}^H$  – потрібний бойовий наряд літаків-еталонів для виконання і-го бойового завдання щодо ураження наземних об'єктів;  $N_{потр.i}^П$  – потрібний бойовий наряд літаків-еталонів для вирішення і-го бойового завдання стосовно знищення повітряних цілей;  $N_{потр.i}^P$  – потрібна кількість еталонних літаків-розвідників для здійснення повітряної розвідки району з визначеною площею за допомогою і-го способу розвідки.

При цьому, кількісну потребу авіаційного угруповання для вирішення поставлених завданням в операції доцільно визначати в такій послідовності.

1. Визначення потрібної кількості еталонних одиниць для виконання завдань ураження наземних об'єктів [6]:

$$N_{потр.i}^H = N_{об'єкт_i} \cdot n_{наряд_i}^e \cdot (2 - \bar{P}_{ППО}), \quad (3)$$

де  $N_{об'єкт_i}$  – потрібна кількість об'єктів і-го типу, які уражуються;  $n_{наряд_i}^e$  – потрібний полігонний наряд літаків-еталонів для ураження визначеного об'єкту з заданим ступенем. Для розрахунків будемо приймати ступень ураження "С";  $\bar{P}_{ППО}$  – імовірність успішного подолання ППО противника.

2. Визначення потрібної кількості літаків у винищувальному супроводженні ударного авіаційного угруповання [6]:

$$N_i^{B. супр.} = N_j^{ПР.} \cdot \sqrt{P_{j/i} / P_{i/j}}, \quad (4)$$

де  $N_i^{B. супр.}$  – потрібна кількість своїх винищувачів супроводження і-го типу для зв'язування повітряним боєм  $N_j^{ПР.}$  винищувачів противника j-го типу, які вийшли на перехоплення наших ударних літаків;  $P_{j/i}, P_{i/j}$  – імовірності взаємної поразки винищувачів при веденні повітряного бою.

В свою чергу, кількість винищувачів противника, які необхідно зв'язати повітряним боєм, визначається як

$$N_j^{\text{пр.}} = \mu \cdot N_{\text{потр.}}^H / P_{j/e}, \quad (5)$$

де  $\mu$  – норма поразки бойового порядку ударних літаків при відбитті повітряного нападу;  $P_{j/e}$  – імовірність перехоплення винищувачем противника  $j$ -го типу нашого ударного літаку-еталону;  $N_{\text{потр.}}^H$  – оцінка потреб в ударних літаках-еталонах щодо вирішення завдань знищення наземних цілей.

3. Визначення потреби у літаках-розвідниках доцільно розраховувати з урахуванням заданої імовірності виявлення малорозмірного типового наземного об'єкту ( $P_{\text{виявл.}} = 0,8$ ) та при типових режимах застосування розвідувального бортового комплексу.

4. Визначення потреби у транспортній авіації доцільно розраховувати з урахуванням заданих завдань за ситуаціями застосування ЗС України.

### Висновки

Таким чином, запропонований підхід до визначення бойових можливостей авіаційного угруповання дозволяє більш точно визначити бойові завдання авіаційного угруповання в сучасних операціях ЗС України та, за потреби, обґрунтувати рекомендації

### ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ БОЕВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АВИАЦИОННОЙ ГРУППИРОВКИ

А.Н. Жарик

*Предложен подход к определению боевых возможностей авиационной группировки. Он позволяет более точно определять боевые задания авиационной группировки в современных операциях ЗС Украины и, при необходимости, обосновать рекомендации относительно повышения эффективности их выполнения в тех или других условиях обстановки.*

**Ключевые слова:** авиация, авиационная группировка, эффективность, операция, боевые возможности.

### APPROACH TO DETERMINATION OF BATTLE POSSIBILITIES OF AVIATION GROUPMENT

O.M. Zharik

*Approach is offered to determination of battle possibilities of aviation groupment. He allows more exactly to determine the combat missions of aviation groupment in the modern operations of ZS of Ukraine and, if necessary, ground recommendation in relation to the increase of efficiency of their implementation in those or other terms of situation.*

**Keywords:** aviation, aviation groupment, efficiency, operation, battle possibilities.

УДК 621.396

С.В. Козелков, К.С. Козелкова

ДП "Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління", Київ

### АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ ДОСЯГНЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ ТОЧНОСТІ СИНХРОНІЗАЦІЇ

*У статті проаналізовані основні принципи досягнення максимальної точності синхронізації.*

**Ключові слова:** радіоінтерферометр з наддовгою базою, радіотехнічний комплекс, широкопугловий шумоподобний сигнал.

### Вступ

При розробці систем високої складності встає низка принципівих запитань, вирішення яких визначає подоба системи і можливості її розвитку. При розробці траєкторної радіоінтерферометричної системи принципівим є забезпечити синхронізацію

щодо підвищення ефективності їх виконання в тих чи інших умовах обстановки.

### Список літератури

1. Державна програма розвитку Збройних Сил України на 2006 - 2011 роки. – К., 2006.
2. Трюхан О.М. Тактика авіації у локальних війнах та збройних конфліктах: досвід, аналіз, тенденції / О.М. Трюхан. – К., 2005. – 340 с.
3. Рязанов Н.П. Асимметричные угрозы национальным интересам США // Зарубежное военное обозрение. – 2005. – №3. – С. 2-7.
4. Корнуков А.М. О возрастании роли противоборства в воздушно-космической сфере и задачах ВВС в военных действиях XXI века / А.М. Корнуков // Военная мысль. – 2001. – №5. – С. 7-12.
5. Дрожжин А.И. Воздушные войны в Ираке и Югославии / А.И. Дрожжин, Е.В. Алтухов. – М.: ООО "Восточный горизонт", 2002.
6. Шубин В.Н. Моделирование боевых действий авиационных частей и соединений при уничтожении воздушного противника / В.Н. Шубин, Н.П. Венков. – Монино: ВВА им. Гагарина, 1989. – 84 с.

Надійшла до редколегії 2.03.2010

**Рецензент:** д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

видалених шкал часу в пунктах виміру радіовиміру радіоінтерферометра.

Метод синхронізації годинника з використанням супутника зв'язку вперше був застосований в 1962 році [1]. Синхронізація шкал часу Військово-морської обсерваторії США (USNO) і Національної фізичної лабораторії Великої Британії (NPL) прово-

дилася через супутник Telstar, що знаходився на еліптичній орбіті. Як синхронізуючий сигнал використовувалася послідовність імпульсів тривалістю 5 мкс і частотою повторення 10 Гц. В результаті була досягнута висока для того часу точність  $\pm 1$  мкс.

Для синхронізації системи РЗНБ-вимірів доцільно вирішити такі завдання:

- розробка методики синхронізації;
- вибір сигналу для передачі шкал часу і методу його обробки;
- аналіз погрешностей синхронізації.

При цьому необхідно розробити новий метод звірення видалених шкал часу через супутниковий канал, а також вирішити весь комплекс методичних апаратних і експериментальних завдань з метою досягнення точності синхронізації порядку 0,1 нс.

### Основна частина

Потреби науки і техніки заставляють шукати можливості подальшого підвищення точності синхронізації годинника (до 0,1 нс) із збереженням високої оперативності методу звірення шкал часу через супутниковий канал. Цього можна досягти за таких умов [2]:

1. Синхронізацію необхідно вести через геостационарний КА, щоб зменшити погрешності, пов'язані з рухом КА відносно пунктів звірення. Основними причинами цих погрешностей є ефект Доплера і релятивістські ефекти.

2. Процедура обміну сигналами має бути побудована так, щоб в основному виключити затримки, пов'язані з формуванням і поширенням сигналів. В цьому випадку точність синхронізації залежатиме від параметрів бортового РТК, типа сигналу і точності виміру тимчасових інтервалів.

3. Сигнал, яким обмінюються пункти РЗНБ, має бути широкопasmовим шумоподобним сигналом (ШШС), синхронізованим з опорними стандартами частоти і часу.

4. Стабільність гетеродинів бортового РТК і наземного РТК повинна забезпечувати достатнє для здобуття потрібного відношення сигнал-шум час когерентного накопичення на виході приймача наземного РТК.

5. Тимчасові затримки  $K_i$ , необхідні для обчислення різниці показань годинників, повинні вимірюватися за допомогою кореляційної обробки сигналу так, як це робиться в радіоінтерферометрії, що забезпечує найвищу точність виміру  $\tau$ .

Аналіз основних тенденцій розвитку систем синхронізації з використанням супутникових каналів зв'язку [2, 3] показує на можливість розробки схеми і техніки вимірів.

Оцінимо можливість здобуття необхідної точності виміру тимчасових затримок  $\sigma_\tau = 0,1$  нс для випадку використання геостационарного опорного КА і кореляційної обробки сигналу. В цьому випадку відношення сигнал-шум складе

$$h = P_C \sqrt{\Delta f t_C} / 2 / P_{\text{Ш}} \quad (1)$$

де  $\Delta f$  – смуга частот псевдошумового сигналу, що приймаються і реєстрованих;  $P_C$  і  $P_{\text{Ш}}$  – потужності сигналу і шуму на вході приймача;  $t_C$  – інтервал когерентності сигналу при його ретрансляції.

При цьому помилка виміру тимчасової затримки  $\sigma_\tau$  має вигляд

$$\sigma_\tau = \sqrt{3} / (\pi h \Delta f).$$

Тоді для здобуття помилки  $\sigma_\tau \leq 0,1$  нс необхідно, щоб  $h \Delta f \geq 5 \cdot 10^9$ . Наприклад, при  $\Delta f = 10$  МГц отримуємо  $h \geq 500$ , що сповна досягне навіть при використанні приймально-передавальних антен малого діаметру. Відношення  $g = P_C / P_{\text{Ш}}$  на вході приймача наземного РТК системи траєкторних вимірів РЗНБ, що працює через геостационарний опорний КА типу "Горизонт", складає  $g \approx 100$ , тому для  $h = 500$  і  $\Delta f = 10$  МГц згідно (1) виявляється достатнім  $t_C = 5 \cdot 10^{-6}$  с. Як відомо [4], такий час когерентності забезпечується вже при нестабільності гетеродина бортового РТК  $\sigma_f = 2 \cdot 10^{-6}$ .

Таким чином, в запропонованому методі синхронізації з використанням кореляційної обробки ШШС досяжна точність 0,1 нс.

Для практичної реалізації синхронізації шкал годинника наземного і бортового РТК використовуваний метод [5, 6], який можна максимально адаптувати до системи траєкторних вимірів РЗНБ. При цьому для здобуття навігаційних характеристик вимірюваного КА необхідне звірення таких шкал часу схеми:

- наземного РТК і вимірюваного КА;
- наземного РТК і опорного КА;
- вимірюваного КА і опорного КА.

При цьому як додаткова інформація, що дозволяє компенсувати системні помилки вимірів, представляє інтерес звірення шкал часу:

- наземного РТК через опорний КА і вимірюваний КА;
- наземного РТК через вимірюваний КА і опорний КА;
- опорного КА через вимірюваний КА з наземним РТК;
- вимірюваного КА через опорний КА з наземним РТК.

### Висновки

Проаналізовані основні принципи досягнення максимальної точності синхронізації. Запропоновані основні принципи побудови системи передачі шкал часу і показана принципова можливість здійснення синхронізації з точністю до 0,1 нс. Проведений аналіз чинників, що визначають точність передачі шкал часу по каналу супутникового зв'язку.

### Список літератури

1. Steele J., Marcowitch W., Lündback C. *Telstar time synchronization // IEEE Trans. Instr. and Meas.* - 1964. - JM-13. - №1. - P. 164-170.

2. Губанов В.С. Синхронизация часов через геостационарный ретранслятор с помощью радиointерферометрической техники / В.С. Губанов, М.Н. Кайдановский, Н.Д. Умарбаева // Кинематика и физика небесных тел. – 1989. – Т. 5, №6. – С. 84-88.

3. Beehler R.F. Time / Frequency services of the U.S. National Bureau of Standards and some alternatives for future improvement // Journal of the Institution of Electronic and Telecommunication Engineers, V. 27. – №10. – 1981. – P. 389-402.

4. Кайдановский М.Н. Построение спутниковой системы передачи данных для радиointерферометров со сверхдлинными базами: дис. ... докт. техн. наук: 01.03.02. – СПб., 1998. – 281 с.

5. Иванов М.А. Обоснование использования адап-

тивных методов теории высокоскоростной передачи специальной информации по радиоканалам миллиметрового диапазона длин волн / М.А. Иванов, С.В. Козелков.- М., 1989. – 12 с. – Деп. в ЦИВТИ МО СССР, вып. 10. №4250, В1386.

6. Козелков С.В. Наземный радиотехнический комплекс управления и идентификации космических аппаратов двойного назначения среднего и дальнего космоса: дис. ... докт. тех. наук: 05.17.21. – Х., 2000. – 457 с.

Надійшла до редколегії 19.03.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

#### **АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ ДОСТИЖЕНИЯ МАКСИМАЛЬНОЙ ТОЧНОСТИ СИНХРОНИЗАЦИИ**

С.В. Козелков, К.С. Козелкова

*В статье проанализированы основные принципы достижения максимальной точности синхронизации.*

**Ключевые слова:** радиointерферометр со сверхдлинной базой, радиотехнический комплекс, широкополосной шумоподобный сигнал.

#### **ANALYSIS OF BASIC PRINCIPLES OF ACHIEVEMENT OF MAXIMAL EXACTNESS OF SYNCHRONIZATION**

S.V. Kozelkov, K.S. Kozelkova

*Basic principles of achievement of maximal exactness of synchronization are analysed in the article.*

**Keywords:** radiointerferometer with a superdistant base, radio engineering complexwideband noise-type signal.