

## ЧИСЕЛЬНЕ ВИРІШЕННЯ ІГОР ТИПУ ВОГНЕВИХ ДУЕЛЕЙ

к.т.н. Д.П. Лабенко, к.т.н. О.І. Богатов, к.т.н. Ю.В. Кулявець  
(подав д.т.н., проф. Є.І. Бобир)

*Розглядається один із багатьох підходів до чисельного вирішення ігор типу вогневих дуелей зенітного ракетного підрозділу з екіпажем повітряної цілі.*

**Постановка проблеми.** Приймаючи до уваги підвищені вимоги до мобільності зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) перед штабами різних рівнів стає складна задача, що полягає в необхідності ретельного планування бойових дій мобільних сил і засобів в умовах жорстких вимог до оперативності прийняття рішень. Ріст складності розв'язуваних задач визначається тим, що противник постійно удосконалює засоби і способи ведення розвідки, придушення системи ППО і нанесення ударів по об'єктах. При цьому зміна тактики дій противника, якісних параметрів його озброєння і, насамперед, прийняття на озброєння систем високоточної зброї вимагає зміни поглядів на характер сучасного протиповітряного бою, підходів до оцінки стійкості системи ППО.

**Аналіз літератури.** Аналіз літератури показує, що оцінки ефективності і ризику вогневим комплексом при веденні ним вогневої дуелі, організації і управління маневром підрозділів при веденні ними мобільних бойових дій, із застосуванням математичного апарату теорії ігор, чисельних методів оптимізації, методів аналітичного моделювання досліджені недостатньо.

У більшості праць обґрунтовуються показники систем ОВТ взагалі. У [1] показана можливість реалізації варіантного методу оптимізації стійкості ланки управління із застосуванням теорії ігор. У [2] розглядається методика оцінки ефективності і ризику вогневого комплексу при веденні ним поодинокі вогневої дуелі з літаком противника із застосуванням математичного апарату теорії ігор. У [3] на основі показників вогневої дуелі обґрунтовуються показники ефективності і ризику для протиповітряної дуелі зенітного ракетного підрозділу з екіпажем повітряної цілі.

**Основний текст.** Відомо, що багато тактичних ситуацій зводяться до антагоністичної гри двох гравців, у якій стратегії гравців являють собою рішення про здійснення певної дії, направленої на досягнення деякої мети гри, причому визначальними в такій ситуації є як ефективність дій, так і послідовність їхнього виконання противниками. Оскільки характер самих дій заздалегідь визначений і відомий обом гравцям, то вибір чистої стратегії в такій грі ототожнюється з вибором моменту часу з деякого інтерва-

лу. Характерними й актуальними для воєнних додатків є ігри з вибором моменту часу типу дуелей, або просто дуелі. Найбільш простою з погляду математичної формалізації є дуель з одним пострілом.

Дуель з одним пострілом інтерпретується таким чином. Два противники мають мету знищити один одного. Для рішення цієї задачі вони мають у своєму розпорядженні зброю, що забезпечує проведення одного пострілу. Зближуючись, дуелянти вирішують задачу визначення моменту відкриття вогню. У грі типу дуелей вигреш істотно залежить від порядку, у якому діють дуелянти, і від точностних характеристик застосовуваної зброї. Цілком природним є припущення про те, що імовірність знищення противника зі зменшенням відстані (а отже, зі збільшенням часу) зростає. Будемо припускати, що імовірність знищення другого дуелянта першим –  $p_1(t_1)$ , де  $t_1$  – момент відкриття вогню першим дуелянтом, є безперервною монотонно зростаючою функцією часу, причому:

$$p_1(0) = 0; \quad \frac{d}{dt_1} p_1(t_1) > 0; \quad p_1(1) = 1.$$

Аналогічне припущення робиться щодо функції імовірності знищення першого дуелянта другим  $p_2(t_2)$ :

$$p_2(0) = 0; \quad \frac{d}{dt_2} p_2(t_2) > 0; \quad p_2(1) = 1.$$

Очевидно, що кожний дуелянт прагне затримати постріл, наскільки це можливо, щоб збільшити імовірність ураження, не піддаючись при цьому великому ризику бути знищеним противником.

Розглянемо вогневу дуель. В основі розроблювальних математичних моделей вогневих дуелей лежать класичні методи безперервних ігор з вибором моменту часу і методи теорії протиповітряних дуелей, розробка яких почата в ряді робіт вчених Харківського військового університету.

Введемо деякі поняття. **Вогневим комплексом** (ВК) називається сукупність технічних засобів, що забезпечують виявлення, розпізнавання і поразку наземних, повітряних чи космічних цілей. На сьогоднішній день існують різні типи ВК, які відрізняються як за структурою, так і за принципами функціонування. **Вогневою дуеллю** (ВД) називається процес вогневого протистояння бойових розрахунків вогневих комплексів на відносно короткому інтервалі часу, протягом якого супротивники можуть обмінятися обмеженим числом ударів.

Військові підрозділи виконують бойову задачу по знищенню противника і недопуску вогневого ураження об'єктів, які обороняються шляхом ведення бою. Бій реалізується шляхом проведення узгоджених за часом і простором одиночних і групових ВД. Така інтерпретація бою істотно полегшує

математичну формалізацію без втрати найбільш значимих факторів, які впливають на результат бою. Результат ВД залежить від багатьох факторів: рівня підготовки осіб бойового розрахунку, тактико-технічних характеристик та стану озброєння і військової техніки, тощо. Однак результат ВД носить випадковий характер і обидва дуеланти ризикують бути знищеним противником. Для побудови математичної моделі вибираються показники, які характеризують ступінь пристосованості першого дуеланта ( $D_1$ ) до виконання своєї основної задачі – знищення другого дуеланта ( $D_2$ ) у ВД.

Для оцінки бойових дій  $D_1$  у ВД вводяться два показники [1 – 3]: ефективності ( $E$ ) – математичне сподівання імовірності знищення  $D_2$  у ВД; ризику ( $R$ ) – математичне сподівання імовірності знищення  $D_1$  у ВД.

Параметр  $E$  характеризує бойову ефективність  $D_1$  у ВД, а величина  $R$  визначає ризик, на який наражається  $D_1$ . У зв'язку з цим вони називаються показниками ефективності і ризику  $D_1$  у ВД. Зрозуміло, що введені показники взаємно обернені: ефективність  $D_1$  чисельно дорівнює ризику  $D_2$ , а ризик  $D_1$  – ефективності  $D_2$ .

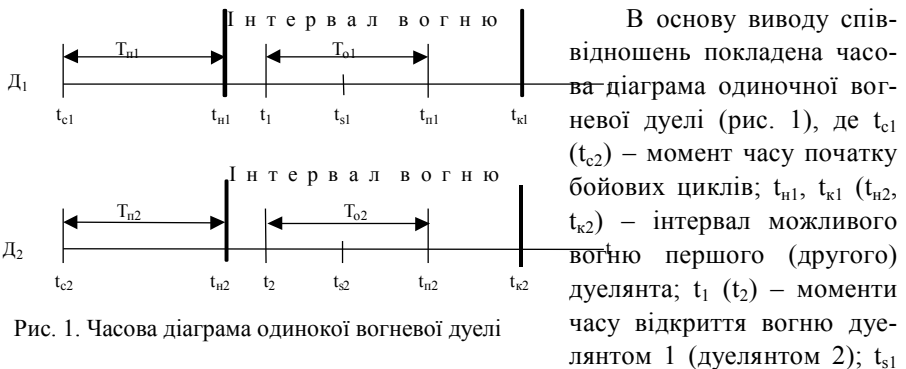


Рис. 1. Часова діаграма одинокої вогневої дуелі

( $t_{s2}$ ) – моменти часу звільнення першого (другого) дуеланта від наведення боєприпасів;  $t_{n1}$  ( $t_{n2}$ ) – моменти часу поразки противника першим (другим) дуелантом;  $T_{n1}$  ( $T_{n2}$ ) – час підготовки до стрільби першого (другого) дуеланта;  $T_{e1}$  ( $T_{e2}$ ) – час обстрілу противника першим (другим) дуелантом.

Показники  $E$  і  $R$  дорівнюють:

$$E = \iint P_1(t_2, t_1) f_1(t_1) f_2(t_2) dt_1 dt_2; \quad R = \iint P_2(t_2, t_1) f_1(t_1) f_2(t_2) dt_1 dt_2,$$

де  $P_1(t_2, t_1)$  – умовна імовірність знищення  $D_2$ , при умові, що противники проводять пуски своїх боєприпасів у моменти часу  $t_2, t_1$ ;  $P_2(t_2, t_1)$  – умовна імовірність знищення  $D_1$ , при умові, що противники проводять пуски своїх боєприпасів у моменти часу  $t_2, t_1$ ;  $f_1(t_1)$  – щільність розподілу імовірностей моментів відкриття вогню  $D_1$  (стратегія управління вогнем);  $f_2(t_2)$  – аналогічна щільність розподілу імовірностей для  $D_2$  (контр-стратегія).

Імовірності  $P_1(t_2, t_1)$  і  $P_2(t_2, t_1)$  характеризують ефективність  $D_1$  і  $D_2$  в конкретній ВД при умові протидії друг другу. Класифікація ВД може бути проведена за наступними структурно-функціональними ознаками: ступенем інформованості про дії противників; кількістю проводимих пострілів; типом озброєння противників; кількістю противників в дуелі, тощо. Усього класифікація вогневих дуелей включає 48 типів вогневих дуелей – 16 типів поодиноких, 16 типів групових дуелей одноканальних вогневих комплексів із багатоканальними і 16 типів групових дуелей багатоканальних вогневих комплексів із багатоканальними. У процесі вогневого протиборства можливі 4 варіанти вирішення задач противниками в дуелі: **ПВ** (поразка – виживання) – перший дуелянт має на меті вразити противника, а задачею другого дуелянта є збереження своєї боєздатності; **ВП** (виживання – поразка) – другий дуелянт має на меті вразити противника, а задачею першого дуелянта є збереження своєї боєздатності; **ПП** (поразка – поразка) – обидва дуелянта мають на меті вразити противника за будь-яку ціну, навіть ціною своєї загибелі (ситуація „камікадзе”); **ВВ** (виживання – виживання) – задачею обох дуелянтів є збереження своєї боєздатності. Кожна з цих ситуацій породжує свою математичну модель. У ситуації ПВ одержуємо безперервну модель

$$\text{MAX}_{f_1} \text{MIN}_{f_2} \left\{ \iint P_1(t_2, t_1) f_1(t_1) f_2(t_2) dt_1 dt_2 \right\}$$

за умовами:

$$\int_{t_1 > 0} f_1(t_1) dt_1 = 1, \quad f_1(t_1) > 0; \quad \int_{t_1 > 0} f_2(t_2) dt_2 = 1, \quad f_2(t_2) > 0.$$

Шляхом дискретизації дана безперервна модель зводиться до чисельної моделі – матричної гри з нульовою сумою і функцією виграшу:

$$E(X, Y) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^n P_{ij} x_i y_j.$$

Рішення цієї гри в чистих чи змішаних стратегіях є дискретним аналогом стратегій дуелянтів у вогневій дуелі, точність надання яких залежить від величини шагу дискретизації. Аналогічну за структурою модель одержуємо і в ситуації ВП. Розглянуті два випадки представляють антагоністичну безперервну гру з нульовою сумою.

Наступні дві ситуації породжують більш складні чисельні моделі. У ситуації ПП обидва противники переслідують рішучі цілі: перший дуелянт прагне збільшити свою ефективність  $\text{MAX}_{f_1} \{E(f_1, f_2)\}$ , а другий – збільшити ризик першого  $\text{MAX}_{f_2} \{R(f_1, f_2)\}$  за такими ж обмеженнями на стратегії  $f_1$  і  $f_2$ .

Чисельний аналог даної дуелі:

$$E(X, Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{ij} x_i y_j \rightarrow \underset{X}{\text{MAX}}; R(X, Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n P_{2ij} x_i y_j \rightarrow \underset{Y}{\text{MAX}}; \sum_{i=1}^m x_i = 1; \sum_{j=1}^n y_j = 1; \\ x_i > 0; y_j > 0.$$

Аналогічну за структурою модель одержуємо і в ситуації ВВ.

**Висновки.** Достойнством введеної системи показників є те, що в них, у залежності від потреби і з урахуванням умов ведення бойових дій і наявної інформації про противника, можуть бути враховані найрізноманітніші фактори, що впливають на хід і результат ВД. Це дозволяє використовувати введені математичні моделі при формалізації критеріїв ефективності управління як окремими підсистемами ЗРВ, так і угрупуванням у цілому, зв'язавши їх у єдину струнку систему.

Для подальшого дослідження напрямків розвитку вогневих комплексів і ефективності системи управління доцільно також проводити дослідження на базі інших показників: оперативність, стійкість, безперервність, скритність, якість тощо.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Лабенко Д.П., Кириченко І.О. *Оценка эффективности и риска многоканального ЗРК в противоздушной дуэли методами имитационного моделирования // Сборник научных трудов ХВУ. – Х.: ХВУ. – 1995. – № 1. – С. 167 – 174.*
2. Лабенко Д.П., Богатов О.І. *Визначення показників ефективності і ризику в дуельних ситуаціях // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ. – 2004. – Вип. 3. – С. 100 – 103.*
3. Лабенко Д.П., Богатов О.І. *Показники ефективності і ризику для протиповітряної дуелі // Моделювання та інформаційні технології. – К.: ППМЕ, НАНУ. – 2004. – Вип. 26. – С. 116 – 118.*

Надійшла 30.07.2004

**ЛАБЕНКО Дмитро Петрович**, канд. техн. наук, доцент, начальник НДВ – заступник начальника НДУ Об'єднаного науково-дослідного інституту ЗС. У 1991 році закінчив ВІРТА ППО. Область наукових інтересів – автоматизовані системи управління і обробки інформації.

**БОГАТОВ Олег Ігорович**, канд. техн. наук, старший науковий співробітник, начальник НДВ Об'єднаного науково-дослідного інституту ЗС. У 1990 році закінчив ВІРТА ППО. Область наукових інтересів – автоматизовані системи управління і обробки інформації.

**КУЛЯВЕЦЬ Юрій Владленович**, канд. техн. наук, провідний науковий співробітник, заступник начальника НДВ Об'єднаного науково-дослідного інституту ЗС. У 1987 році закінчив ЖВУРЕ ППО. Область наукових інтересів – обробка радіолокаційної інформації.