

# Збройна боротьба: теорія, забезпечення, досвід

УДК 629.73.017.2

А.М. Алімпієв, О.Б. Леонтєв, А.С. Хижняк

*Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ВАРТОСТІ СЕРІЙНОГО ЗРАЗКА АВІАЦІЙНОЇ КЕРОВАНОЇ РАКЕТИ КЛАСУ "ПОВІТРЯ-ПОВІТРЯ" МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ ВІД ЇЇ ІМОВІРНОСТІ УРАЖЕННЯ

*На основі обробки наявного статистичного матеріалу за допомогою методу найменших квадратів встановлено функціональну залежність між вартістю серійної авіаційної керованої ракети класу "повітря-повітря" малої дальності та значенням імовірності ураження нею повітряної цілі.*

**Ключові слова:** авіаційна керована ракета, функціональна залежність, метод найменших квадратів, імовірність, базова вибірка.

### Вступ

**Постановка задачі та аналіз літератури.** Процес обґрунтування розробки зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) обумовлює вирішення деякої низки важливих завдань, одним з яких є визначення економічної доцільності створення нового зразка. Названа доцільність як відомо обумовлюється не перевищенням вартості серійного виробу деякої визначеної величини, що називається лімітною ціною.

Лімітна ціна визначається з міркувань, коли ціна на виріб не буде вищою ніж ціна найближчих аналогів виробів, що представлені на світовому ринку озброєнь. Тобто, ця лімітна ціна дозволяє виключити ризик вкладання коштів на забезпечення військ зразками ОВТ в неефективні, з економічної точки зору, заходи.

Серед методичних підходів найбільш поширеним є метод аналогій, що базується на аналізі світових тенденцій розвитку конкретного виду зброї. Хибність таких підходів полягає в тому, що оцінки вартості (ціни) не враховують різницю в значеннях узагальнених показників якості, в тому числі – показника бойової ефективності, у різних типів АКР. Це обумовлює низьку точність прогнозів – відносна похибка сягає від 50% та й більше. Також відомі підходи, що базуються на встановленні формалізованих зв'язків між вартістю виробу та його показниками якості, які характеризуються більш точними прогнозними оцінками. Але для авіаційних керованих ракет (АКР) класу "повітря-повітря" малої дальності таких формалізованих зв'язків не відомо.

Для усунення даних недоліків скористаємося методичним підходом, що базується на побудові кваліметричних моделей. Цей підхід базується на

обробці наявної інформації про вартість серійних АКР та імовірності ураження ними повітряних цілей шляхом побудови апроксимуючих формалізованих математичних виразів.

**Мета статті** – встановлення формалізованої залежності вартості серійної АКР класу "повітря-повітря" малої дальності від імовірності ураження повітряної цілі.

### Основний матеріал

Для побудови залежності вартості АКР класу "повітря-повітря" малої дальності від узагальненого показника її бойової ефективності за оглядом наявних джерел науково-технічної інформації було здійснено збір та аналіз статистичних даних. З метою формування коректної базової вибірки статистичного матеріалу, розглядалися тільки зразки АКР класу "повітря-повітря" малої дальності, які були створені в США для потреб власних Збройних Сил. Значення вартості серійних зразків визначалося з офіційної інформації міністерства оборони США про витрати державного бюджету на закупівлю АКР в різні роки [1, 2].

Оскільки під впливом факторів інфляції вартість конкретного типу АКР на момент часу прийняття її на озброєння змінюється за часом, відповідні вартості були перераховані у ціни 2015 фінансового року за допомогою відомих методів врахування інфляції [3]. Дані базової вибірки [4 – 6] для побудови залежності вартості АКР класу "повітря-повітря" малої дальності від узагальненого показника її бойової ефективності наведені в табл. 1.

В якості альтернативних форм наближеного виду залежності розглядалися такі лінійні та квадратичні форми:

Таблиця 1

Дані базової вибірки

Тип АКР	AIM-9A	AIM-9D/H	AIM-9G	AIM-9J,P3	AIM-9L	AIM-9M	AIM-9X
Рік початку постачання у війська	1956	1972	1972	1977	1978	1983	2002
Вартість в цінах року постачання у війська ( $c_1$ ), тис. \$	15	22	24	65	75	82	277
Вартість в цінах 2015 фінансового року ( $c_1^*$ ), тис. \$	101,5	102,5	112	206	231	177	370
Імовірність ураження цілі	0,1	0,16	0,175	0,36	0,36	0,36	0,7

$$c_1^* = b_0 + b_1 \cdot P_{yp}; \quad (1)$$

$$c_1^* = b_0 + b_1 \cdot P_{yp} + b_2 \cdot P_{yp}^2; \quad (2)$$

$$c_1^* = b_0 + b_1 \cdot P_{yp} + b_2 \cdot P_{yp}^2 + b_3 \cdot P_{yp}^3; \quad (3)$$

$$c_1^* = b_0 + b_1 \cdot P_{yp} + b_2 \cdot P_{yp}^2 + b_3 \cdot P_{yp}^3 + b_4 \cdot P_{yp}^4; \quad (4)$$

$$c_1^* = b_0 + b_1 \cdot P_{yp} + b_2 \cdot P_{yp}^2 + b_3 \cdot P_{yp}^3 + b_4 \cdot P_{yp}^4 + b_5 \cdot P_{yp}^5, \quad (5)$$

де  $P_{yp}$  – імовірність ураження повітряної цілі авіаційною керованою ракетою класу "повітря-повітря" малої дальності.

В якості критерію вибору кращої форми моделі застосуємо мінімум значення середньоквадратичної похибки на інтервалі інтерполяції, та значення мінімальної відносної похибки наприкінці цього інтервалу, що відповідає описанню АКР класу "повітря-повітря" малої дальності останніх років створення.

За допомогою методу найменших квадратів приведемо до "працездатного" вигляду моделі (1) – (5), отримаємо:

$$a) \text{ №1: } c_1^* = 36,9 + 470,36 \cdot P_{yp}; \quad (5)$$

$$б) \text{ №2: } c_1^* = 80 + 284,6 \cdot P_{yp} + 185,3 \cdot P_{yp}^2; \quad (6)$$

$$в) \text{ №3: } c_1^* = -42,76 + 1389,67 \cdot P_{yp} + 230,46 \cdot P_{yp}^2 + 327,56 \cdot P_{yp}^3; \quad (7)$$

$$г) \text{ №4: } c_1^* = -42,86 + 768,81 \cdot P_{yp} + 409,2 \cdot P_{yp}^2 + 598,83 \cdot P_{yp}^3 + 252,13 \cdot P_{yp}^4; \quad (8)$$

$$д) \text{ №5: } c_1^* = -221,55 + 15,62 \cdot P_{yp} + 1354,81 \cdot P_{yp}^2 + 1008,83 \cdot P_{yp}^3 + 834,37 \cdot P_{yp}^4 + 280,48 \cdot P_{yp}^5. \quad (9)$$

Тепер проаналізуємо залежності (5) – (9) (форми залежностей № 1...5) за вибраним критерієм, а саме застосуємо умову мінімізації значення середньоквадратичного відхилення та відносної похибки наприкінці інтервалу інтерполяції.

Побудована залежність (5) описує вибірку наявного статистичного матеріалу наприкінці інтервалу інтерполяції з відносною похибкою 1,5%, та середньоквадратичним відхиленням розрахункових даних на всьому інтервалі інтерполяції, що дорівнює 18,63.

Побудована залежність (6) описує вибірку наявного статистичного матеріалу наприкінці інтервалу інтерполяції з відносною похибкою 0,46%, та середньоквадратичним відхиленням розрахункових даних на всьому інтервалі інтерполяції, що дорівнює 17,96.

Залежність (7) описує вибірку наявного статистичного матеріалу наприкінці інтервалу інтерполяції з відносною похибкою 64%, та середньоквадратичним відхиленням розрахункових даних на всьому інтервалі інтерполяції, що дорівнює 241,38.

Побудована залежність (8) описує вибірку наявного статистичного матеріалу наприкінці інтервалу інтерполяції з відносною похибкою 61,5%, та середньоквадратичним відхиленням розрахункових даних на всьому інтервалі інтерполяції, що дорівнює 203,4.

Залежність (9) описує вибірку наявного статистичного матеріалу наприкінці інтервалу інтерполяції з відносною похибкою 74,1%, та середньоквадратичним відхиленням розрахункових даних на всьому інтервалі інтерполяції, що дорівнює 419.

За результатами аналізу моделей кращою моделлю визначено модель форми (6) (форма залежності № 2).

Подальше підвищення ступеню поліному в моделі призводило до погіршення якості описання статистичних даних та до ускладнення виду залежності.

В результаті рекомендовано наступний вид залежності вартості АКР класу "повітря-повітря" малої дальності (в цінах 2015 фінансового року) від узагальненого показника її бойової ефективності:

$$c_1^* = 80,0 + 284,6 \cdot P_{yp} + 185,3 \cdot P_{yp}^2, \text{ тис. \$ (2015 ф.р.)}. \quad (10)$$

Межі надійного застосування виразу (10) визначаються діапазоном зміни імовірності ураження АКР класу "повітря-повітря" малої дальності з базової вибірки (табл. 1) – областю інтерполяції, а саме:

$$P_{yp} \in [0,1; 0,7]. \quad (11)$$

Поза вказаним інтервалом, при  $P_{yp} > 0,7$ , оцінювання вартості серійного виробу АКР класу "повітря-повітря" малої дальності повинне здійснюватися за екстраполяційною лінійною залежністю:

$$c_1^* = 191,31 + 259,4 \cdot P_{yp}, \text{ тис. \$ (2015 ф.р.)}. \quad (12)$$

Перевірка точності описання залежністю (10) наявного статистичного матеріалу та характеристики її точності наведені в табл. 2.

Інтегральні показники точності описання статистичної вибірки виразом (10) складають: середньоквадратичне відхилення на інтервалі інтерполяції 19,86 тис. \$ (або у відносних величинах від 5% до

19%), вірогідна похибка на інтервалі інтерполяції 13,39 тис. \$ (або у відносних величинах від 3,6% до 13,2%). При цьому, найгірші показники точності залежності (6) спостерігаються для АКР класу "по-

вітря-повітря" малої дальності, які були створені та поставлені у війська до 1975 року, а для більш сучасних типів даних ракет відносна похибка має суттєво менші значення.

Таблиця 2

## Описання статистичного матеріалу

Тип АКР	AIM-9A	AIM-9D/H	AIM-9G	AIM-9J,P3	AIM-9L	AIM-9M	AIM-9X
Вартість в цінах 2015 фінансового року ( $C_1^*$ ), тис. \$	101,5	102,5	112	206	231	177	370
Розрахована по виразу (6) вартість ( $C_1^*$ ), тис. \$	110,3	128,5	135,25	206,13	206,13	206,13	370,017
Відносна похибка розрахунків	+8,7%	+25,4%	+20,7%	+0,06%	-10,8%	+16,5%	+0,46%

Графічно це відображено на рис. 1.



Рис. 1. Залежність величини максимальної відносної похибки при визначенні вартості АКР

Залежність (10) дозволяє при прогнозуванні отримати суттєво кращі оцінки вартості перспективної АКР класу "повітря-повітря" малої дальності, ніж інші відомі методичні підходи, та може бути рекомендованою для практичного використання в задачах обґрунтування вимог до перспективних АКР класу "повітря-повітря" малої дальності.

### Висновки

Побудовано функціональну залежність вартості АКР типу "повітря-повітря" малої дальності від імовірності ураження нею повітряної цілі.

Результат перевірки даної залежності свідчить про можливість застосування побудованої залежності для розв'язання практичних задач по визначенню вартості АКР класу "повітря-повітря" малої дальності.

### ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ЦЕНЫ СЕРИЙНОГО ОБРАЗЦА АВИАЦИОННОЙ УПРАВЛЯЕМОЙ РАКЕТЫ КЛАССА "ВОЗДУХ-ВОЗДУХ" МАЛОЙ ДАЛЬНОСТИ ОТ ЕЕ ВЕРОЯТНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ

А.Н. Алимпиєв, А.Б. Леонтьєв, А.С. Хижняк

На основании обработки имеющегося статистического материала при помощи метода наименьших квадратов установлено функциональную зависимость между ценой серийной авиационной управляемой ракеты класса "воздух-воздух" малой дальности и значением её вероятности поражения воздушной цели.

**Ключевые слова:** авиационная управляемая ракета, функциональная зависимость, метод наименьших квадратов, вероятность, базовая выборка.

### THE CONSTRUCTION OF THE MATHEMATICAL DEPENDENCE OF THE PRICE OF A PRODUCTION MODEL AIRCRAFT GUIDED MISSILE OF CLASS "AIR-AIR" OF SMALL RANGE FROM THE LIKELIHOOD OF INJURY

A.M. Alimpiyev, O.B. Leont'yev, A.S. Khyzhnyak

On the basis of available statistical material using the method of least squares established the functional dependence between the price of production aircraft guided missile of class "air-air" of small range and the value of its probability of hitting air targets.

**Keywords:** aircraft guided missile, functional dependence, method of least squares, probability, basic sampling.

### Список літератури

1. Вартість закупівлі [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.cbo.gov/sites/default/files/98th-congress-1983-1984/reports/1983\\_01\\_missiles.pdf](https://www.cbo.gov/sites/default/files/98th-congress-1983-1984/reports/1983_01_missiles.pdf).
2. Вартість закупівлі [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://www.cbo.gov/sites/default/files/103rd-congress-1993-1994/reports/94doc02b.pdf>.
3. Мировой атлас данных [Електронний ресурс] – Режим доступу: [- 5. Системы управления вооружением истребителей. Основы интеллекта многофункционального самолета / Л.Е. Баханов и др.; под ред. Е.А. Федосова – М.: Машиностроение, 2005. – 400 с.
- 6. Авиационная ракета AIM-9X \[Електронний ресурс\] – Режим доступу: \[Надійшла до редколегії 22.02.2016\]\(http://pentagonus.ru/publ/materialy\_posvjashheny/2000\_nastojashhij\_moment/razrabotka\_v\_ssha\_rakety\_aim\_9x\_klassa\_quot\_vozdukh\_vozdukh\_quot\_ot\_maloj\_dalnosti/122-1-0-1458. – Назва з екрану.</a></li>
</ol>
</div>
<div data-bbox=\)](http://knosma.ru/atlas/Соединенные Штаты Америки /topics/Экономика /Национальные счета-Валовой внутренний продукт-Дефлятор ВВП. – Назва з екрану.</a></li>
<li>4. Состояние и перспективы развития оружия класса )

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.А. Калкманов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.