

Юрій Борисович Прібілєв (канд. техн. наук, доцент)

Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ, Україна

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬНО-ВИПРОБУВАЛЬНОЇ СТАНЦІЇ З ЗАДАНИМИ ТЕХНІЧНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

У статті розроблена математична модель, яка дозволяє побудувати контрольно-випробувальну станцію зенітних керованих ракет з мінімальними витратами та заданими технічними характеристиками. Знайдений вираз, що визначає ефект від підвищення якості контрольно-випробувальної станції, та запропоновано проводити проектування контрольно-випробувальної станції, виходячи з умови досягнення його максимального значення. Кількісні значення ефекту від підвищення якості контрольно-випробувальної станції дозволяють зробити порівняльний аналіз контрольно-випробувальних станцій та визначити оптимальні конструктивні рішення. Розглянути співвідношення, що визначають ціну контрольно-випробувальної станції, залежність ціни датчика від класу точності датчика, складові ціни збору та обробки вимірювальної інформації. Запропоновано знаходити оптимальні конструктивні рішення контрольно-випробувальної станції шляхом послідовного уточнення моделі за одним з критеріїв, а інші критерії вважати обмеженнями.

Ключові слова: контрольно-випробувальна станція, ефект, зенітна керована ракета.

Вступ

Для підтримання готовності зенітних ракетних комплексів (ЗРК) є необхідним надання обслуговуючому персоналу достовірної інформації про технічний стан (ТС) зенітних керованих ракет (ЗКР). Основним джерелом такої інформації є проведення регламентних та контрольно-випробувальних робіт з ЗКР за допомогою контрольно-випробувальних станцій (КВС). Але зростання темпів старіння озброєнь та військової техніки зенітних ракетних військ [1] має наслідком те, що існуючі КВС, які є на постачанні ЗС України, не завжди забезпечують достовірний контроль ТС ЗКР. Розробка нових ракетних комплексів супроводжується зростанням їх складності та технологічного рівня, що вимагає підвищення ефективності контролю. Тому одночасно з ракетним озброєнням проводиться модернізація та розробляються нові зразки КВС [2].

Постановка проблеми. При побудові КВС виробники вирішують завдання забезпечення мінімальних витрат при заданому значенні ефективності контролю ТС ЗКР при визначених обмеженнях. Актуальною є розробка математичної моделі, що дозволить здійснити проектування КВС за мінімумом витрат.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. ЗКР є складною технічною системою, яка характеризується різноманітними показниками, які необхідно контролювати під час експлуатації [3]. Розробкою методів технічної експлуатації ЗКР і підтримання технічної готовності ЗКР займалися автори [4, 5]. У роботі [2] наведені загальні вимоги до КВС, але математична модель КВС, що зв'язує ціну КВС та її технічні характеристики, ще не розроблена.

Метою статті є розробка математичної моделі КВС, що дозволить врахувати ефект від побудови перспективних уніфікованих автоматизованих

КВС та здійснити проектування КВС за мінімумом витрат.

Виклад основного матеріалу дослідження

Основними властивостями ЗРК є ефективність бойового застосування та готовність до застосування, показники яких задаються в тактико-технічних вимогах до ЗРК. Ці показники залежать від ЗКР, контроль ТС яких виконують КВС, що мають обмеження: за помилками контролю ($\alpha \leq \alpha_B$; $\beta \leq \beta_B$), швидкодією контролю ($t_k \leq t_{KB}$), витратою ресурсу ЗКР ($t_p \leq t_{PB}$), масою ($G \leq G_B$) та об'ємом ($V \leq V_B$).

Залежно від конкретного завдання коригуються кількісні значення обмежень, але якісна картина залишається незмінною. При побудові КВС основним завданням є забезпечення мінімальних витрат при заданому значенні ефективності контролю при визначених обмеженнях. При проектуванні КВС необхідно враховувати всі види витрат.

Для економії коштів в ході розробки КВС необхідно проводити техніко-економічні розрахунки та проводити оптимізацію характеристик за кількома критеріями, що є складною задачею. Задача оптимізації спрощується, якщо оптимізацію проводити послідовно за одним критерієм, а інші критерії вважати обмеженнями. Критерій оптимальності має бути таким, щоб забезпечити потрібні значення контролю (помилки α_B , β_B і часу t_{KB}) з мінімальними витратами.

Витрати оцінюються економічними показниками КВС, які пов'язані з виробництвом, наприклад, ціна КВС (C). Такі показники, як: витрата паливно-мастильних матеріалів, електроенергії, розхідних матеріалів, продуктивність, надійність, визначають обсяг

експлуатаційних витрат КВС або вартість експлуатації КВС C_e .

Ефект від підвищення якості КВС можна визначити за формулою:

$$E = \left[(V_C \eta_k - V_H) + \frac{\left(\sum_{i=1}^n V_{C_i} - \sum_{i=1}^m V_{H_i} \right)}{T_E} + (H_A + E_H)(C_C \eta_k - C_H) - E_H \Delta k_{ун} \right] A_H, \quad (1)$$

де E – величина ефекту від підвищення якості КВС;

V_C – річні експлуатаційні витрати на КВС старої якості;

η_k – загальний показник зміни якісного рівня нової КВС;

V_H – річні експлуатаційні витрати на КВС нової якості;

T_E – термін експлуатації КВС;

V_{C_i} – витрати на i -й цикл ремонту КВС старої якості;

n – кількість ремонтних циклів КВС старої якості;

V_{H_i} – витрати на i -й цикл ремонту КВС нової якості;

m – кількість ремонтних циклів КВС нової якості;

H_A – коефіцієнт амортизаційних відрахувань;

E_H – нормативний коефіцієнт капіталовкладень;

C_C – ціна КВС старої якості;

C_H – ціна КВС нової якості;

$\Delta k_{ун}$ – питомі додаткові капіталовкладення у виробництво КВС нової якості;

A_H – обсяг виробництва нових КВС.

Вибір КВС слід проводити, виходячи з умови досягнення максимального значення E . У формулі (1) для КВС, що порівнюються, $\eta_k = 1$. Крім того, величини V_H , V_C , V_{C_i} , n , m , C_C і C_H є функціями складності КВС, а коефіцієнт $\Delta k_{ун}$ можна вважати рівним нулю. Для КВС

однакового призначення $C_C > C_H$, $V_{C_i} > V_{H_i}$, $n > m$, $C_C > C_H$, якщо індекс "с" відноситься до більш складної системи. Найбільш чутливою до складності КВС є її ціна C , тому вибір КВС треба проводити з умови:

$$E = V(C_i - C_j) = \max, \quad (2)$$

де $V < 0$, $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ – номери порівнюваних КВС.

Для виконання умови (2) досить вибрати систему k , для якої при будь-якому наборі i, j виконується співвідношення:

$$(C_{i(j)} - C_k) > 0, \quad (3)$$

або $C_k < C_{i(j)}$.

Ціна КВС C і вартість експлуатації КВС C_e носять кількісний характер та залежать від основних технічних характеристик КВС. Але ціна КВС залежить від усіх технічних характеристик, тому її доцільно вибрати в якості показника оптимальності КВС. За цим критерієм оптимальною КВС має бути станція, яка забезпечує задані помилки і час контролю при мінімальній ціні.

У загальному вигляді ціна КВС складається з ціни пристрою збору інформації $C_{зі}$, ціни пристрою передачі інформації $C_{пі}$, ціни пристрою обробки інформації $C_{оі}$ і ціни рішального пристрою $C_{рп}$. Для рішення завдання оптимізації треба мати залежності, які зв'язують ціну КВС та її технічні характеристики. Складові $C_{зі}$, $C_{пі}$, $C_{оі}$ і $C_{рп}$ по-різному залежать від технічних характеристик КВС.

Пристрій збору інформації має декілька датчиків, кількість яких відповідає кількості контрольованих характеристик:

$$C_{зі} \cong \sum_{i=1}^k C_{ді}, \quad (4)$$

де $C_{ді}$ – ціна i -го датчика.

Ціна датчика залежить від його класу точності (для датчика допускового типу – середньої квадратичної помилки або його чутливості). Якісно цю залежність можна визначити за допомогою рис. 1.

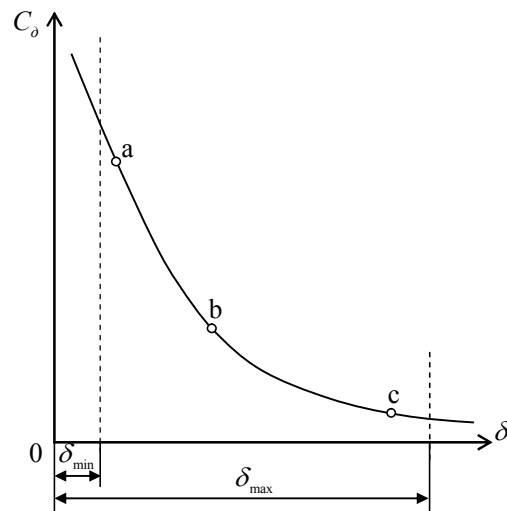


Рисунок 1 – Залежність ціни датчика від класу точності датчика

У кожному конкретному випадку досить розглядати частину ділянки цієї кривої в межах від δ_{min} до δ_{max} . При цьому значення δ_{min} і δ_{max} не задані, то δ_{max} можна визначати з умови, що тільки даний датчик впливає на достовірність контролю, а величину δ_{min} можна прийняти

рівною нулю.

Для зазначеного інтервалу зміни δ :

$$C_d = k_1 + \frac{k_2}{\delta^{k_3}}.$$

Постійні k_1 , k_2 , k_3 можуть бути визначені, якщо відома ціна для трьох значень класу точності δ . Виберемо на кривій рис. 1 три точки – a , b , c , для яких визначимо:

$$\frac{C_a - C_c}{\delta_a^{k_3}} + \frac{C_c - C_a}{\delta_b^{k_3}} + \frac{C_a - C_b}{\delta_c^{k_3}} = 0; \quad (5)$$

$$k_2 = \frac{C_a - C_b}{\frac{1}{\delta_a^{k_3}} - \frac{1}{\delta_b^{k_3}}}; \quad (6)$$

$$k_1 = C_a - \frac{k_2}{\delta_a^{k_3}}. \quad (7)$$

Як видно з формули (5), визначення показника k_3 та наступні розрахунки є дуже складними, тому в подальшому показник k_3 будемо вважати заздалегідь обраним і однаковим при виготовленні всіх датчиків, що відповідає практиці виробництва. Вираз (5) може забезпечити збіг розрахункової ціни з фактичною в двох точках a і b . Визначити коефіцієнти k_1 і k_2 можна за формулами (6) і (7), для цього необхідно знати ціну датчиків тільки для двох класів: δ_a і δ_b . У якості таких розрахункових класів можна прийняти:

$$\delta_a = \frac{3}{4}\delta_{\min} + \frac{1}{4}\delta_{\max}; \quad \delta_b = \frac{1}{4}\delta_{\min} + \frac{3}{4}\delta_{\max}. \quad (8)$$

Загальна ціна збору інформації:

$$C_{ci} \cong \sum_{i=1}^k k_{1i} + \sum_{i=1}^k \frac{k_{2i}}{\delta_i^{k_3}}. \quad (9)$$

Складові C_{pi} , C_{oi} , $C_{рп}$ залежать від кількості та складності обробки вторинної інформації:

$$C_{pi} + C_{oi} + C_{рп} = J\sqrt{A}, \quad (10)$$

де J – кількість вторинної інформації;

A – об'ємність алгоритму обробки вторинної інформації, що визначається прийнятим способом обробки.

Кількість вторинної інформації залежить від кількості контрольованих характеристик та класу точності датчиків:

$$J = \sum_{i=1}^k \frac{1}{\delta_i}, \quad (11)$$

де k – кількість контрольованих характеристик.

Література

1. Карпенко Д.В. Стан та перспективи розвитку зенітного ракетного озброєння Повітряних Сил Збройних Сил України: Науковий журнал “Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України”. 2017. № 2(27). С.75–78. **2. Прібілев Ю.Б.** Підхід до побудови уніфікованої універсальної автоматизованої контрольно-випробувальної станції ракетного озброєння. /

При допусковій системі оцінки кількість вторинної інформації дорівнює кількості контрольованих характеристик, тому загальна кількість вторинної інформації дорівнює:

$$J = k' + \sum_{i=1}^{k-k'} \frac{1}{\delta_i}, \quad (12)$$

де k' – кількість контрольованих характеристик з допусковою системою оцінки.

З урахуванням формул (9), (10), (11), (12) ціна КВС є наступною:

$$C_{zi} + C_{pi} + C_{oi} + C_{рп} = k'\sqrt{A} + \sum_{i=1}^k k_{1i} + \sum_{i=1}^{k'} \frac{k_{2i}}{\delta_i^{k_3}} + \sum_{i=1}^{k-k'} \frac{k_{2i} + \delta_i^{k_3-1}}{\delta_i^{k_3}}. \quad (13)$$

Таким чином, модель КВС зі заданими технічними характеристиками можна навести у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} \alpha \leq \alpha_B; \beta \leq \beta_B; t_K \leq t_{KB}; t_P \leq t_{PB}; G \leq G_B; V \leq V_B; \\ k'\sqrt{A} + \sum_{i=1}^k k_{1i} + \sum_{i=1}^k \frac{k_{2i}}{\delta_i^{k_3}} + \sum_{i=1}^{k-k'} \frac{k_{2i} + \delta_i^{k_3-1}}{\delta_i^{k_3}} = C_{\min} \end{cases}, \quad (14)$$

де $\alpha, \beta, t_K, t_P, G, V$ – відповідно помилки реальної КВС, час контролю, втрата ресурсу, маса і об'єм КВС;

$\alpha_B, \beta_B, t_{KB}, t_{PB}, G_B, V_B$ – відповідно допустимі (або ті, що вимагаються) значення помилок, часу контролю, втрати ресурсу, маси та об'єму КВС.

Висновки

Знаходження в загальному випадку оптимальних характеристик КВС, що задовольняють співвідношенням (14), зводиться до завдань лінійного динамічного програмування. Простіше знаходити оптимальні характеристики шляхом послідовного уточнення моделі: спочатку вибираємо кількість контрольованих характеристик (при фіксованій точності датчиків), потім визначаємо точність датчиків і т.д.

Таким чином, у статті запропонована математична модель КВС, яка дозволяє побудувати з мінімальними витратами КВС, що має задані технічні характеристики.

Ю. Б. Прібілев, Л. В. Сакович. // Наука і оборона. – 2017. – № 1. – С. 42-48. **3. Архангельский И. И.** Проектирование зенитных управляемых ракет. / И. И. Архангельский П. П. Афанасьев, И. С. Голубев, В. Г. Светлов и др. – М.: МАИ, 2001. – 732 с. **4. Гриб Д. А.** Удосконалення методів технічної експлуатації і ремонту як основа підтримання

боеготового стану зенітного ракетного озброєння в сучасних умовах [Текст] / Д. А. Гриб, Б. М. Ланецький, В. В. Лук'янчук // Наука і оборона. – 2012. – №3. – С. 55-63. **5. Пермяков О. Ю.** Модель системи діагностування, технічного обслуговування та ремонту

складних технічних систем військового призначення. / О. Ю. Пермяков, Ю. Б. Прибілев, О. О. Дюбанов. // Наука і оборона. – 2016. – № 2. – С. 48-52.

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ С ЗАДАНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Юрий Борисович Прибылев (канд. техн. наук, доцент)

Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев, Украина

В статье разработана математическая модель, которая позволяет построить контрольно-испытательную станцию зенитных управляемых ракет с минимальными затратами и заданными техническими характеристиками. Найдено выражение, определяющее эффект от повышения качества контрольно-испытательной станции, и предложено проводить проектирование контрольно-испытательной станции, исходя из условия достижения его максимального значения. Количественные значения эффекта от повышения качества контрольно-испытательной станции позволят сделать сравнительный анализ контрольно-испытательных станций и определить оптимальные конструктивные решения. Рассмотрены соотношения, определяющие цену контрольно-испытательной станции, зависимость цены датчика от класса точности датчика, составляющие цены сбора и обработки измерительной информации. Предложено находить оптимальные конструктивные решения контрольно-испытательной станции путем последовательного уточнения модели по одному из критериев, а другие критерии считать ограничениями.

Ключевые слова: контрольно-испытательная станция, эффект, зенитная управляемая ракета.

MODEL OF THE CONTROL AND TEST STATION WITH THE GIVEN CHARACTERISTICS

Yurii Pribyliev (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)

National Defence University of Ukraine named after Ivan Cherniakhovsky, Kyiv, Ukraine

The mathematical model, which makes it possible to build a control and test station of anti-aircraft missiles with minimal costs and specified technical characteristics is developed. An expression that determines the effect of improving the quality of the control and test station is found. To design the control and test station, based on the condition for reaching its maximum value is proposed. Quantitative values of the effect of improving the quality of the control and test station will make a comparative analysis of the control and test stations and determine the optimal design solutions. The relationships determining the price of the control and test station, the dependence of the price of the sensor on the accuracy class of the sensor, which compose the prices for the collection and processing of the measuring information, are considered. It was suggested to find the optimal design solutions of the control and test station by sequential refinement of the model by one of criteria, and other criteria as limitations.

Keywords: test station, effect, anti-aircraft missile.

References

1. Karpenko D.V. Stan ta perspektyvy rozvytku zenitnogo raketnogo ozbrojennja Povitrynykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy: Naukovyj zhurnal "Nauka i tekhnika Povitrynykh Syl Zbrojnykh Syl Ukrainy". 2017. №2(27). S.75–78. **2. Pribyliev Ju.B., Sakovych L.V.** Pidkhid do pobudovy unifikovanoji universalnoji avtomatyzovanoji kontroljno-vyprobuvajnoji stanciji raketnogo ozbrojennja: Naukovo-teoretychnyj ta naukovo-praktychnyj zhurnal "Nauka i obrona". Kyjiv. 2017. №1. S. 42–48. **3. Arkhangheljskij Y. Y.** Proektyrovanye zenytnykh upravljajemykh raket. / Y. Y. Arkhangheljskij P. P. Afanasj'ev, Y. S. Gholubev, V. Gh. Svetlov y dr. – M.:

MAY, 2001. – 732 s. **4. Ghryb D. A.** Udoskonalennja metodiv tekhnichnoji ekspluataciji i remontu jak osnova pidtrymannja bojehotovogho stanu zenitnogo raketnogo ozbrojennja v suchasnykh umovakh [Tekst] / D. A. Ghryb, B. M. Lanecjkyj, V. V. Luk'janchuk // Nauka i obrona. – 2012. – №3. – S. 55-63. **5. Permjakov O. Ju.** Modelj systemy diahnostuvannja, tekhnichnogo obslughovuvannja ta remontu skladnykh tekhnichnykh system vijsjkovogho pryznachennja. / O. Ju. Permjakov, Ju. B. Pribyliev, O. O. Djubonov. // Nauka i obrona. – 2016. – №2. – S. 48-52.