

УДК 623.094, 621.396.96

Б.М. Ланецький, В.В. Кобзєв, В.А. Васильєв, В.В. Лук'янчук, Д.В. Фоменко

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИХОДУ ВИРОБУ З ТРАНСПОРТНО-ПУСКОВОГО КОНТЕЙНЕРА ПРИ ПРОВЕДЕННІ КОНТРОЛЬНИХ ЛЬОТНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Розроблена методика визначення часу виходу та висоти виходу виробу з транспортно-пускового контейнера при проведенні контрольних льотних випробувань. Розроблені рекомендації щодо її використання та подальшого розвитку.

Ключові слова: транспортно-пусковий контейнер, виріб, параметри виходу.

Вступ

Постановка завдання. Загальновизнаною світовою тенденцією вважається застосування у існуючих та перспективних зенітних ракетних комплексах (ЗРК) вертикального старту ракет з транспортно-пускових контейнерів (ТПК) з подальшим схиленням ракети в напрямку на точку зустрічі з ціллю.

Повітряні Сили (ПС) Збройних Сил (ЗС) України мають на озброєнні ЗРК, в яких реалізований зазначений підхід. У той же час значна кількість зенітних керованих ракет (далі – виробів), яка є на озброєнні ПС ЗС України, вичерпала первинно встановлені призначені показники (терміни служби, ресурси, тощо). Їх подальша експлуатація є можливою за умови проведення робіт з продовження призначених показників.

При проведенні зазначених робіт виникає необхідність комплексної оцінки стану ТПК, яка дозволяла б перевірити їх вузли за вихідним ефектом. Прикладом такого вихідного ефекту можуть бути кількісні величини оцінок параметрів виходу (часу виходу та висоти виходу) виробу з ТПК.

Підприємствами-виробниками виробів для вирішення таких завдань використовувались швидкісні кінокамери "Гладіолус" [1], які на даний час є застарілими.

До недавнього часу основним вимірювальним засобом при проведенні бойових стрільб підрозділами зенітних ракетних військ був високоточний кінотеодоліт "Вісмутін" та фотореєструючі станції. Однак використання цих засобів для вирішення зазначених завдань недоцільне у зв'язку з неможливістю забезпечення вимірювань параметрів виходу виробів з необхідною точністю та достовірністю. Це обумовлене низкою кадровою частотою зйомки та особливостями їх розміщення під час проведення стрільб (на пунктах управління, які можуть бути розміщені на значних відстанях від стартових позицій).

У зв'язку з цим виникає необхідність вирішення актуальної задачі – розробки методичного апарату щодо проведення вимірювань параметрів виходу виробів з ТПК з використанням сучасних засобів відеореєстрації, які можна розташовувати безпосередньо біля ТПК на безпечній відстані.

Мета статті. Розробка методики визначення параметрів виходу виробів з ТПК при проведенні контрольних льотних випробувань (КВЛ).

Основна частина

Методика визначення параметрів виходу виробів з ТПК при проведенні КВЛ включає основні розділи: точність вимірювань; засоби вимірювання; методи вимірювань; умови вимірювань; підготовка до виконання вимірювань; виконання вимірювань; обробка результатів вимірювань і оцінювання величин параметрів; контроль точності отриманих вимірювань; оформлення результатів оцінювання. З урахуванням цього вона передбачає проведення робіт в три етапи:

- підготовка до виконання вимірювань;
- виконання вимірювань;
- обробка результатів вимірювань і оцінювання величин параметрів.

Блок-схема методики наведена на рис. 1.

В розробленій методиці в якості параметрів виходу виробу з ТПК розглянуті висота виходу і час виходу виробу з ТПК (далі – параметри виходу). В подальшому дана методика може бути використана як основа для розробки часткових методик визначення інших параметрів виходу.

Під висотою виходу виробу з ТПК (далі – висотою виходу) розуміється максимальна відстань від хвостової частини виробу до верхнього зрізу ТПК, яка досягнута з моменту появи носової частини виробу над верхнім зрізом ТПК до моменту запуску маршового двигуна. Діапазон зміни цієї оцінюваної величини знаходиться, як правило, в межах від 0 до 40 метрів.



Рис. 1. Блок-схема методики визначення параметрів виходу

Під часом виходу виробу з ТПК (далі – часом виходу) розуміється часовий інтервал від моменту появи носової частини виробу над верхнім зрізом ТПК до моменту запуску маршового двигуна. Діапазон зміни цієї оцінюваної величини знаходиться, як правило, в межах від 0 до 10 секунд. При підготовці до проведення вимірювань параметрів виходу виробу з ТПК на стартовій позиції обирається місце, як правило, з боку протилежної сторони до напрямку польоту виробу на безпечній відстані для установки відеокамери із забезпеченням прямої видимості на ТПК (рис. 2, а, б) таким чином, щоб уникнути попадання в об'єктиві відеокамери під час зйомки прямих сонячних променів.

Необхідною умовою проведення вимірювань є налаштування полю зору відеокамери таким чином, щоб виріб з моменту появи носової частини з ТПК до запуску маршового двигуна не виходив за межі поля зору об'єктива.

Для цього поблизу відеокамери необхідно встановити два орієнтири, за допомогою яких буде проведено необхідне її налаштування. Взаємне розташування відеокамери, орієнтирів та ТПК у горизонтальній та вертикальній площинах схематично наведено на рис. 2.

На цьому рисунку наведена сукупність точок, які відповідають:

- точка $P_{вк}$ – місце встановлення відеокамери,
- $P_{ТПК}$ – місце встановлення ТПК,
- $P_{ул}$ і $P_{уп}$ – місце встановлення лівого та правого орієнтирів відповідно,

P_y – точка перетину ліній $P_{вк} P_{ТПК}$ та $P_{ул} P_{уп}$. Відстань між орієнтирами ℓ_y визначається з урахуванням геометричної подібності трикутників, вершинами яких є:

- з одного боку – ТПК, відеокамера та межі областей, в яких після старту може перебувати виріб;
- з іншого боку – відеокамера та точки $P_{вк}$, $P_{ул}$, $P_{уп}$, P_y .

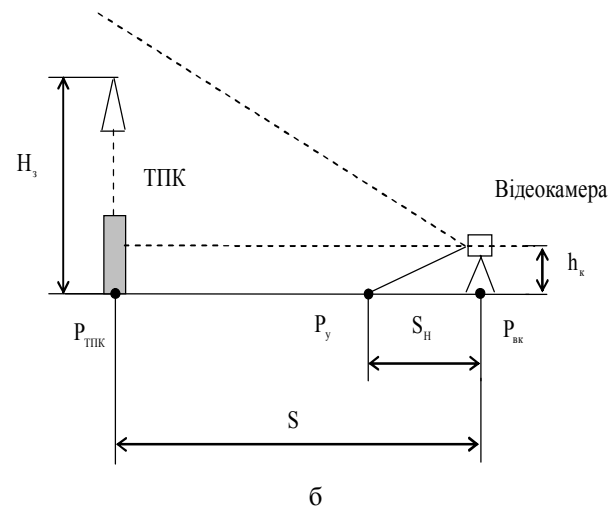
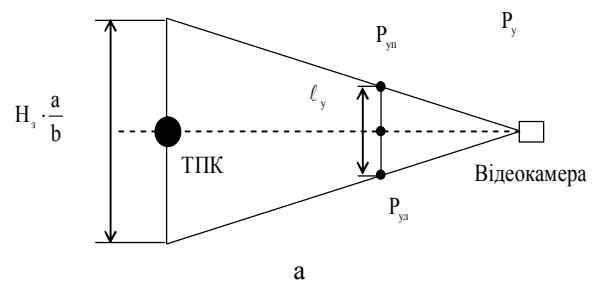


Рис. 2. Схема проведення вимірювань на стартовій позиції (а – вид зверху, б – вид збоку)

Розрахункове співвідношення для ℓ_y з урахуванням вищенаведеного має вигляд:

$$\ell_y = \frac{\sqrt{S_H^2 + h_k^2} \cdot H_3 \cdot a}{S \cdot (1 - \delta) \cdot b}, \quad (1)$$

де S – відстань від ТПК до точки стояння відеокамери $P_{вк}$;

S_H – відстань від точки стояння відеокамери $P_{вк}$ до точки P_y настроювального розміру поля зору відеокамери;

h_k – відстань від поверхні землі до середини об'єктива відеокамери;

H_3 – априорна висота запуску маршового двигуна;

a, b – співвідношення сторін поля зору відеокамери відповідно по горизонталі і вертикалі (як правило $a = 4, b = 3$);

δ – коефіцієнт похибки вимірювання S_H , що залежить від типу вимірювального засобу.

Зйомка проводиться окремо для кожного пуску виробу.

В процесі обробки отриманого відеопотоку видаляються ті його ділянки, які передують руйнуванню кришки ТПК та відповідають інтервалу часу після виходу виробу за межі поля зору об'єктиву. Відеопотік, що залишився, піддається "розкадровуванню", в результаті якого формується сукупність кадрів відеозображення процесу пуску.

Для подальших вимірювань з даної сукупності виділяються три знімки:

– знімок 1, де носова частина виробу з'являється з ТПК;

– знімок 2, де спостерігається запуск маршового двигуна виробу;

– знімок 3, який передує знімку 2.

За цими знімками визначаються наступні характеристики:

– момент часу t_1 (або порядковий номер кадру n_1), який відповідає знімку 1;

– момент часу t_2 (або порядковий номер кадру n_2), який відповідає знімку 2;

– прямокутні координати носової частини виробу $(x_1^*; y_1^*)$ (початок координат – лівий нижній кут знімка 3);

– прямокутні координати хвостової частини виробу $(x_2^*; y_2^*)$;

– прямокутні координати середини верхнього зрізу ТПК $(x_3^*; y_3^*)$.

Вимірювання часу виходу виробу

Вимірювання часу виходу виробу здійснюється одним з двох способів в залежності від типу вживаного програмного забезпечення для формування з відеопотоку процесу пуску виробу сукупності кадрів цього процесу.

Перший спосіб застосовується, якщо програмне забезпечення автоматично вказує на кожному кадрі значення моменту часу, якому відповідає відповідний кадр. При цьому час (тривалість) виходу виробу $t_{\text{вих}}$ оцінюється за співвідношенням

$$t_{\text{вих}} = \frac{t_2 - t_1}{\varepsilon_{f_{\text{кадр}}}}, \quad (2)$$

де $\varepsilon_{f_{\text{кадр}}}$ – величина поправочного коефіцієнта частоти формування кадрів відеокамерою.

Другий спосіб застосовується, якщо програмне забезпечення, що використовується не забезпечує відображення на кожному кадрі значення моменту часу, якому відповідає відповідний кадр. При цьому час виходу виробу $t_{\text{вих}}$ оцінюється за співвідношенням

$$t_{\text{вих}} = \frac{n_2 - n_1}{f_{\text{кадр}} \cdot \varepsilon_{f_{\text{кадр}}}}, \quad (3)$$

де n_1 – порядковий номер кадру, на якому носова частина виробу з'являється з ТПК;

n_2 – порядковий номер кадру, на якому спостерігається запуск маршового двигуна виробу;

$f_{\text{кадр}}$ – кадрова частота роботи відеокамери (кількість кадрів в секунду).

Вимірювання висоти виходу виробу

Вимірювання висоти виходу виробу проводиться розрахунково-експериментальним методом за інформацією, отриманою із знімка, що передує тому, на якому спостерігається запуск маршового двигуна виробу.

На цьому знімку визначаються прямокутні координати трьох точок $(x_i^*; y_i^*)$, $i = (\overline{1, 3})$.

Отримані координати перераховуються в координати вертикальної площини $(x_i; y_i)$, яка проходить через об'єктив відеокамери за співвідношеннями:

$$x_i = x_i^* \cdot \varepsilon_x(x_i^*, y_i^*); \quad (4)$$

$$y_i = y_i^* \cdot \varepsilon_y(x_i^*, y_i^*); \quad (5)$$

де $\varepsilon_x(x_i^*, y_i^*)$, $\varepsilon_y(x_i^*, y_i^*)$ – величини поправочних коефіцієнтів спотворень, що вносяться формою об'єктиву відеокамери, в точці з координатами $(x_i^*; y_i^*)$.

Після цього розраховуються наступні величини:

– відстань на знімку між носовою і хвостовою частинами виробу (довжина виробу на знімку) $r_{\text{вир}}$ за співвідношенням

$$r_{\text{вир}} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}; \quad (6)$$

– відстань на знімку від хвостової частини виробу до верхнього зрізу ТПК $r_{\text{вих}}$ за співвідношенням

$$r_{\text{вих}} = \sqrt{(x_2 - x_3)^2 + (y_2 - y_3)^2}. \quad (7)$$

Розрахункове співвідношення для оцінювання висоти виходу виробу $h_{\text{вих}}$ має вигляд

$$h_{\text{вих}} = \frac{r_{\text{вих}} h_{\text{вир}}}{r_{\text{вир}}}, \quad (8)$$

де $h_{\text{вир}}$ – відома довжина виробу.

Обробка результатів вимірювань і оцінювання величин параметрів.

Заходи, передбачені двома попередніми етапами вимірювання, виконуються для кожного пуску виробу.

В результаті проведення серії з N зйомок і їх обробки формуються сукупності значень величин параметрів виходу виробів з ТПК

$$\{t_{\text{вих}_i}\} \text{ і } \{h_{\text{вих}_i}\},$$

де $(i = \overline{1, N})$.

Розрахункові співвідношення для визначення величин оцінок $\hat{t}_{\text{вих}}$ і $\hat{h}_{\text{вих}}$ параметрів виходу виробів з ТПК мають вигляд

$$\hat{t}_{\text{вих}} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{\text{вих}_i}}{N}, \quad \hat{h}_{\text{вих}} = \frac{\sum_{i=1}^N h_{\text{вих}_i}}{N}. \quad (9)$$

Через обмеженість об'ємів вибірки результатів вимірювань отримані оцінки $\hat{t}_{\text{вих}}$ і $\hat{h}_{\text{вих}}$ параметрів виходу виробів з ТПК характеризуються розсіянням, величина якого визначається розрахунковими співвідношеннями:

$$\hat{\sigma}_{t_{\text{вих}}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_{\text{вих}_i} - \hat{t}_{\text{вих}})^2}; \quad (10)$$

$$\hat{\sigma}_{h_{\text{вих}}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (h_{\text{вих}_i} - \hat{h}_{\text{вих}})^2}. \quad (11)$$

У відповідності до вимог [2] в звітних документах, які розробляються після виконання вимірювань, разом з результатом вимірювань вказується

розширена невизначеність, яка визначається як подвоєна величина вибіркового середньоквадратичного відхилення. Тобто результати виміру параметрів виходу виробів у звітному документі записуються за формою

$$\hat{t}_{\text{вих}} \pm 2 \cdot \hat{\sigma}_{t_{\text{вих}}}, \text{ с.}; \quad (12)$$

$$\hat{h}_{\text{вих}} \pm 2 \cdot \hat{\sigma}_{h_{\text{вих}}}, \text{ м.} \quad (13)$$

Висновки

Розроблена методика може бути використана при вирішенні завдання продовження призначених показників транспортно-пускових контейнерів, випробуваннях дослідних зразків транспортно-пускових контейнерів в частині щодо прийняття обґрунтованих рішень про правильність функціонування транспортно-пускових контейнерів у цілому та відповідність його технічних характеристик заданим вимогам.

Подальший розвиток методики доцільно спрямувати на вирішення завдань визначення інших параметрів виходу виробу, проведення траєкторних вимірювань на початковій ділянці польоту виробу (етапи увімкнення маршового двигуна та розгону виробу), експлуатаційного відпрацювання дослідних зразків транспортно-пускових контейнерів, тощо.

Список літератури

1. Дубовик А.С. Фотографическая регистрация быстротекающих процессов / А.С. Дубовик. – М.: Наука, 1975. – 224 с.
2. ГОСТ 8.010-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения.

Надійшла до редколегії 1.10.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.О. Демідов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫХОДА ИЗДЕЛИЯ ИЗ ТРАНСПОРТНО-ПУСКОВОГО КОНТЕЙНЕРА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КОНТРОЛЬНЫХ ЛЕТНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Б.Н. Ланецкий, В.В. Кобзев, В.А. Васильев, В.В. Лукьянчук, Д.В. Фоменко

Разработана методика определения времени выхода и высоты выхода изделия из транспортно-пускового контейнера при проведении контрольных летных испытаний. Разработаны рекомендации по ее использованию и дальнейшему развитию.

Ключевые слова: транспортно-пусковой контейнер, изделие, параметры выхода.

METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE PRODUCT EXITING THE TRANSPORTING AND LAUNCHING CONTAINER DURING LIVE FLIGHT TESTS

B.M. Laneckiy, V.V. Kobzev, V.A. Vasil'ev, V.V. Luk'yanchuk, D.V. Fomenko

The method is developed for determining exiting time and height for the missile leaving transporting and launching container during live flight tests. Recommendation are given as to further application and development of this method.

Keywords: transporting and launching container, the product (missile), exiting parameters.