

УДК 629.76/.78.018

Дунаєв Д.В.; Кривобоков Л.В. к.т.н.
ДП «КБ «Південне», м. Дніпропетровськ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ ВІДПРАЦЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ ВИПРОБУВАНЬ З УРАХУВАННЯМ ЇХ РОБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЛЯ ВИРОБІВ РАКЕТНОЇ ТЕХНІКИ

Dunaiev D., Krivobokov L.
Yuzhnoye SDO, Dnepropetrovsk, Ukraine, (dimor_diit@mail.ru)

DETERMINING THE DEGREE OF DEVELOPMENT TESTING OF ROCKETRY ITEMS WITH REGARD TO THEIR PERFORMANCE

Зроблено аналіз існуючих методів визначення ступеню відпрацювання об'єктів при плануванні відпрацювання виробів ракетної техніки. За результатами аналізу запропоновано визначити ступінь відпрацювання об'єктів за їхніми робочими характеристиками, які відповідають заданим і отриманим за результатами випробувань. Для цього визначаються безрозмірні коефіцієнти за логарифмічною залежністю відношення величин розглянутого та нормованого параметра робочої характеристики або зовнішньої умови. Для кожного етапу (заводських, автономних та комплексних випробувань), видів і категорій для цього етапу, передбаченого в програмі випробувань даного виробу, визначається загальний безрозмірний коефіцієнт, що враховує робочі характеристики і зовнішні умови. Таким чином, отримаємо значення ступеню відпрацювання об'єктів як відношення загальних безрозмірних коефіцієнтів, які відповідають заданим та отриманим за результатами випробувань робочим характеристикам і зовнішнім умовам. Це дозволить врахувати частку вже відпрацьованих характеристик в наступному за ієрархією об'єкті випробувань і більш якісно визначити «переходи» між об'єктами випробувань, що зменшить вартість і тривалість відпрацювання.

Ключові слова: Ступінь відпрацювання; об'єкт випробувань; комплексна програма експериментального відпрацювання; наземне експериментальне відпрацювання; умовна технічна одиниця.

Вступ

При відпрацюванні виробів ракетної техніки розрізняють етапи наземного експериментального відпрацювання (НЕВ) і льотних випробувань. Основною метою НЕВ є максимальне відпрацювання характеристик ракети космічного призначення (РКП) і її складових частин (можлива ієрархія представлена на рисунку) в умовах максимально наближених до умов польоту. На етапі льотних випробувань відбувається остаточне підтвердження заданих характеристик до РКП та її складових частин. При цьому загальною тенденцією є все більше зміщення випробувань складових РКП в напрямку до НЕВ з метою зменшення загальної вартості і тривалості відпрацювання. У свою чергу НЕВ характеризується складною ієрархією та різноманітною номенклатурою об'єктів випробувань (ОВ), що впливає на загальну вартість і тривалість відпрацювання. Ієрархія ОВ при плануванні НЕВ (програми випробувань, комплексні програми експериментального відпрацювання) поступово ускладнюється [1-4], що відповідає застосуванню принципу симплексного планування [5], в зв'язку з чим виникає проблема визначення «переходу» між об'єктами випробувань, від якісного вирішення якої залежить вартість і тривалість відпрацювання [3].

Мета

Зменшення вартості і тривалості відпрацювання за рахунок визначення ступеню відпрацювання об'єктів випробувань з врахуванням робочих характеристик, які відповідають заданим в технічному завданні та отриманим за результатами випробувань.

Метод вирішення

При складанні програм випробувань, комплексних програм експериментального відпрацювання (КПЕВ) для виробів ракетної техніки керуються вимогами нормативних документів (міжнародними і державними стандартами, стандартами підприємства та іншими документами), досвідом планування відпрацювання

аналогічних ракет. При цьому найбільш поширене поєднання еволюційного планування та симплексного методу планування [5] для зменшення загальної вартості і тривалості відпрацювання.

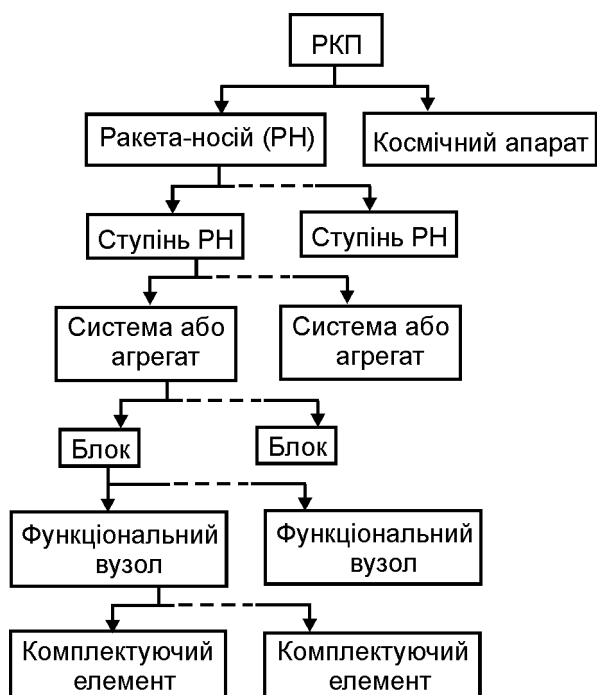


Рис. Ієрархія складових РКП

Для еволюційного планування важливим є принцип за яким систематично відбувається невелика систематична зміна даного робочого параметру. При цьому зміни з одного боку повинні бути достатньо малими щоб не призвести до серйозних порушень, а з іншого боку достатньо великими, аби забезпечити можливість встановити потенціальну зміну робочих показників.

Для симплексного методу планування необхідно чітко розуміння критеріїв «переходу» від одного об'єкта випробувань до іншого (в таблиці для прикладу представлені ОВ, що використовуються для відпрацювання ракети-носія – РКП без корисного навантаження в якості якого у більшості випадків використовуються космічні апарати), при відпрацюванні кінцевого виробу (наприклад, ракети-носія). Одним з критеріїв є ступінь відпрацювання даного об'єкта, яка визначається відношенням кількості вже відпрацьованих характеристик до заданих для виробу. Таке визначення ступеню відпрацювання даного об'єкта, не дивлячись на простоту, не враховує величини характеристик та частки вже відпрацьованих характеристик в наступному за ієрархією ОВ.

Таблиця

Ієрархія об'єктів випробувань, які використовуються при наземному експериментальному відпрацюванні ракети-носія

Найменування	Склад	Область використання
Дослідна конструкція (ДК)	Складова частина ступені, яка за конструктивними розмірами і (або) функціональними характеристиками імітує штатну конструкцію	Для випробувань складових частин ступеней, наприклад, функціональних випробувань
Конструкторсько-технологічний макет (КТМ) або конструкторський макет (КМ)	Ступінь або ракета-носію в цілому, що імітує штатну конструкцію за зовнішнім виглядом, довжиною, місцями кріплення, конфігурацією основних складових частин та інше,	Для макетування складових частин ступеней і ракети-носія, проведення різних спеціальних випробувань, наприклад, тривалим зберіганням
Виріб «5000»	Бак з трубопроводами та стендовою системою управління	Для випробувань пневмогідролічної системи з використанням модельних рідин
Виріб «7000»	Рушійна установка зі стендовою системою управління і вимірювання	Для проведення вогневих стендових випробувань ступені
Електро-заправний макет (ЕЗМ)	Практично штатна ракета-носію без корисного навантаження в головній частині, з імітаторами піротехнічних засобів та інших електробезпечних збірок (електрозапальник)	Для спільного відпрацювання ракети космічного призначення і систем заправки (зливу), циклограм пуску, а також для відпрацювання наземного технологічного обладнання на технічній позиції
Виріб «5200»	Ракета в штатному виконанні	Для транспортувальних випробувань
Примітки: а) ДК, вироби «5000», «5200» та «7000» відповідають дослідному зразку згідно з ДСТУ 3021-95; б) КМ, КТМ і ЕЗМ відповідають макету для випробувань згідно з ДСТУ 3021-95; в) під терміном «штатна» для виробів ракетної техніки розуміється готовий виріб – ракета-носію, ступені ракети-носія, системи, агрегати тощо)		

В роботі [3] розглядається три методи визначення рівня (ступеню) відпрацювання – диференційний, комплексний і змішаний.

При диференціальному методі визначення ступеню відпрацювання здійснюється за окремими відносними показниками $y_i(t)$ за умови одностороннього дотримання необхідного значення аналізованого показника, при обмеженні в часі проведення випробування ($0 \leq t \leq T$).

При комплексному методі визначення ступеню відпрацювання здійснюється за формулою

$$V = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \alpha_i V_i, \quad (1)$$

де $\alpha_i > 0$ – вагові коефіцієнти відносних показників V_i (при цьому $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$);

m – кількість відносних показників.

Слід зазначити, що визначення вагових коефіцієнтів відносних показників V_i можливо, наприклад, за допомогою експертної оцінки.

Можливо визначення ступеню відпрацювання при комплексному методі за простішою формулою

$$V = \sum_{i=1}^m V_i. \quad (2)$$

Вибір формул (1) або (2) визначається ієрархією випробувань, необхідних для підтвердження заданих показників.

При змішаному методі визначення ступеня відпрацювання здійснюється за допомогою комплексного показника

$$K = U \cdot V, \quad (3)$$

де $U = \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 U_j$;

$U_1 = N_1/N$ – характеризує повноту відпрацювання технічних характеристик;

$U_2 = M_1/M$ – характеризує відпрацювання на зовнішні фактори;

$U_3 = T^{сум} / T_e^{сум}$ – характеризує відпрацювання ресурсних характеристик;

N_1 – кількість технічних характеристик виробу, підтвердження яких заплановано програмою випробувань, КПЕВ;

N – загальна кількість технічних характеристик, підтвердження яких передбачено в технічному завданні;

M_1 – кількість зовнішніх факторів і режимів, підтвердження яких заплановано програмою випробувань, КПЕВ при підтвердженні технічних характеристик виробу;

M – кількість зовнішніх факторів і режимів, обумовлених в технічному завданні на виріб;

$T^{сум}$ – сумарне напрацювання при ресурсних випробуваннях, передбачених програмою випробувань, КПЕВ;

$T_e^{сум}$ – вимоги до ресурсу в технічному завданні.

Слід зазначити, що у формулі (3) V визначають за формулою (1) або (2).

При диференціальному методі значення ступеню відпрацювання враховує тільки характеристику виробу за одним параметром, а значення загального ступеню відпрацювання виробу відповідає відношенню кількості вже відпрацьованих характеристик до заданих для нього. Таке визначення ступеню відпрацювання даного виробу не враховує значень характеристик та частки вже відпрацьованих характеристик в наступному за ієрархією ОВ.

При комплексному методі значення ступеню відпрацювання залежить від V_i , які мають широкую номенклатуру параметрів з різними розмірностями, що істотно ускладнює обчислення V за обома формулами. Слід зазначити, що при використанні для обчислення V формули (2) враховуються за допомогою вагових коефіцієнтів частки вже відпрацьованих характеристик в наступному за ієрархією ОВ.

При змішаному методі визначення значення ступеню відпрацювання має той самий недолік, що і при комплексному методі, тому що коефіцієнти U_1 і U_2 враховують параметри з різними розмірностями та номенклатурою, що істотно ускладнює їх обчислення.

Таким чином, потрібен універсальний метод оцінки відпрацювання, який буде враховувати значення характеристик, частки вже відпрацьованих характеристик в наступному за ієрархією ОВ та дозволить нівелювати широкую номенклатуру параметрів та їх розмірностей.

Пропонується метод визначення ступеню відпрацювання об'єктів випробувань за робочими характеристиками

$$S_{oid}^{OB} = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{y=1}^{b_k} K_{сумOB}^y}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{y=1}^{b_k} K_{сумв}^y}, \quad (4)$$

де $\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{y=1}^{b_k} K_{сумOB}^y$ – кількість умовних технічних одиниць (у.т.о.), яка відповідає кількості відпрацьованих робочих характеристик із загального числа для даного ОБ;

$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{m_k} \sum_{y=1}^{b_k} K_{сумв}^y$ – кількість умовних технічних одиниць (у.т.о.), яка відповідає кількості заданих робочих

характеристик в технічному завданні із загального числа для даного ОБ;

k – кількість етапів (заводських випробувань – досліджуються тільки параметри самого об'єкту, автономних – досліджуються параметри ОБ, що впливають на систему, агрегат чи їх складові до якої(го) він належить і комплексних випробувань – досліджуються параметри об'єкту випробувань, які впливають на систему, агрегат чи їх складові [1, 2], [4]) в програмі випробувань, КПЕВ даного ОБ;

m_k і b_k – кількість видів і категорій для k -го етапу в програмі випробувань, КПЕВ даного ОБ відповідно;

$K_{сум} = \sum_{i=1}^n K_{px}^i + \sum_{j=1}^m K_y^m$ – загальна кількість умовних технічних одиниць (у.т.о.), яка відповідає кількості

врахованих робочих характеристик і зовнішніх умов;

n і m – кількість врахованих робочих характеристик і зовнішніх умов відповідно;

$K_{px} = 1 + \lg \frac{x}{X^0}$ – кількість у.т.о. для кожної робочої характеристики даного об'єкту;

$K_y = 1 + \lg \frac{y}{Y^0}$ – кількість у.т.о. для кожної зовнішньої умови;

x , X^0 – параметр, який характеризує робочу характеристику і нормоване її значення відповідно;

y , Y^0 – параметр, який характеризує зовнішню умову та нормоване її значення відповідно.

Значення нормованого параметра приймається за одним з наступних критеріїв:

- відповідно до чинних нормативно-технічних документів;
- розрахунком з уже прийнятих нормованих параметрів;
- на основі експертної оцінки;
- мінімально можливе з практичних міркувань для даної робочої характеристики;
- загальноприйняте (наприклад частота змінного струму).

При визначенні значення нормованого параметра перевагу мають перші три критерії, останні два – допоміжні і використовуються, коли не має змоги скористатися першими трьома.

Слід зазначити, що максимальне значення ступеню відпрацювання ($S_{oid}^{OB} = 1$) відповідає готовому виробу, контрольному зразку і зразку-еталону, які відсутні в таблиці.

Таким чином, при застосуванні формули (4) враховується значення робочих характеристик та зовнішніх умов. Для визначення частки вже відпрацьованих характеристик в наступному за ієрархією об'єкті випробувань необхідно розділити значення його ступеню відпрацювання на значення ступеню відпрацювання, яке відповідає даному ОБ.

Висновки

Запропоноване визначення ступеню відпрацювання ОБ за робочими характеристиками дозволяє більш якісно визначати «переходи» між об'єктами випробувань, частку вже відпрацьованих характеристик в вищому за ієрархією об'єкті випробувань, визначати готовність до льотних випробувань і закінчення відпрацювання кінцевого виробу, що сприяє зменшенню вартості та тривалості відпрацювання.

Анотація. Проведен анализ существующих методов определения степени отработки объектов при планировании отработки изделий ракетной техники. По результатам анализа предложено определять степень отработки объектов по их рабочим характеристикам, которые соответствуют заданным и полученным по результатам испытаний. Для этого определяются безразмерные коэффициенты по логарифмической зависимости отношения величин рассматриваемого и нормированного параметра рабочей характеристики или внешнего условия. Для каждого этапа (заводских, автономных и

комплексных испытаний), видов и категорий для этого этапа, предусмотренного в программе испытаний данного изделия, определяется общий безразмерный коэффициент, учитывающий рабочие характеристики и внешние условия. Таким образом, получим значение степени отработки объектов как отношение общих безразмерных коэффициентов, которые соответствуют заданным и полученным по результатам испытаний рабочим характеристикам и внешним условиям. Это позволит учесть долю уже отработанных характеристик в следующем по иерархии объекте испытаний и более качественно определять «переходы» между объектами испытаний, уменьшит стоимость и продолжительность отработки.

Ключевые слова: Степень отработки; объект испытаний; комплексная программа экспериментальной отработки; наземная экспериментальная отработка; условная техническая единица.

Abstract.

Purpose. Determining the degree of development testing of rocketry items represented by missiles during the simplex method planning for the qualitative transition from one test item to another, reduction of test cost and duration.

Design/methodology/approach. Determining the degree of development testing of an item by the ratio of working characteristics and the external conditions during the tests to the required ones. These working characteristics and external conditions are determined by the sum of the values of dimensionless coefficients corresponding to their parameters, which are obtained using a logarithmical relation as the ratio of the parameter value or the external conditions to its normalized value. At this to the result logarithmical relation is added a unit in order to expand the application range for the values of the working characteristics and external conditions.

Originality/value. More accurate determination of "transitions" between test objects, the proportion of characteristics having passed the development testing in the test object higher in the hierarchy, readiness for flight tests and the end of development testing of the final product.

Keywords: Degree of development testing; Test object; Comprehensive development test programs; Ground development test; Conventional technical unit.

Бібліографічний список використаної літератури

1. Экспериментальная отработка космических летательных аппаратов / [В. А. Афанасьев, В. С. Барсуков, М. Я. Гофрин, Ю. В. Захаров, и др.]; под ред. Н. В. Холодкова. – М.: Изд-во МАИ, 1994 – 418 с.
2. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем : учеб. пособие / [Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов, В. А. Кузнецов и др.] – М.: Логос, 2003. – 736 с.
3. Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 т. (в перизд.) /Ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1989. – Т. 6: Экспериментальная отработка и испытания / под общ ред. Р. С. Судакова, О. И. Тескина. – 376 с.
4. Дунаев, Д. В. К вопросу составления комплексных программ экспериментальной отработки ракет космического назначения / Д. В. Дунаев, Л. В. Кривобоков // Научно технический журнал. Авиационно-космическая техника и технология. – 2015. – № 5(122). – С. 80-85.
5. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. Пер. с англ. – Ленинград: Судостроение, 1980 – 384с.
6. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення: ДСТУ 3021-95. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 74 с.

References

1. Afanas'ev, V. A., Barsukov, V. S., Gofrin, M. Ja., Zaharov, Ju. V. and dr. (1994), *Jeksperimental'naja otrabotka kosmicheskix letatel'nyh apparatov*, (ed.) N. V. Holodkova, Izd-vo MAI Moscow, Russian.
2. Aleksandrovskaja, L. N., Kruglov, V. I., Kuznecov, A. G., Kuznecov V. A. and dr. (2003), *Teoreticheskie osnovy ispytanij i jeksperimental'naja otrabotka slozhnyh tehniceskix sistem*, ucheb. posobie Logos, Moscow, Russian.
3. Sudakova, R. S. and Teskina, O. I. (ed.), (1989), “Jeksperimental'naja otrabotka i ispytanija”, spravocnik v 10 t., in. Avduevskij, V.S. (pred.) i dr., *Nadezhnost' i jeffektivnost' v tehnikе*, Mashinostroenie, Tom 6, Moscow, Russian.
4. Dunaev, D. V. and Krivobokov L. V. (2015), K voprosu sostavlenija kompleksnyh programm jeksperimental'noj otrabotki raket kosmicheskogo naznachenija, Nauchno tehniceskij zhurnal. *Aviacionno-kosmicheskaja tehnika i tehnologija*, no 5 (122), Dnepr, Ukraine, pp. 80-85.
5. Montgomery D. C. (2013), *Design and analysis of experiments*. 8nd ed. John Wiley and Sons New York.
6. Vyprobuvannja i kontrol' jakosti produkci'. Terminy ta vyznachennja, (1995), DSTU 3021-95. [Chynnyj vid 1996-01-01], Derzhstandart Ukrai'ny, Kyiv, Ukraine.

Подана до редакції 18.04.2016