УДК 621.396.96

Ю.О. БАБІЙ
Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького

ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕРМІНІВ ПРОВЕДЕННЯ ЗАХОДІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ І РІЗНОРІДНИХ ЗА СКЛАДОМ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ І КОМПЛЕКСІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У даній статті наведено методику планування термінів проведення адаптивних заходів технічної експлуатації багатофункціональних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення, що ґрунтується на статистико-ймовірнісній моделі правильного функціонування конкретного об'єкта. Одержані графічно характерні тенденції ймовірності правильного функціонування складних радіотехнічних систем при послідовному прибутку апостеріорної інформації та з використання одержаних рекурентних співвідношень, обґрунтовані терміни проведення регламентних перевірок для досліджуваних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення. Визначено показник оптимальності, за яким передбачено вибір плану адаптивних перевірок стану складних радіотехнічних систем.

Ключові слова: імовірність правильного функціонування; прибуток апостеріорної інформації; адаптивні заходи технічної експлуатації; статистико-ймовірнісні моделі.

J.A. BABIY
National Academy of State Border Guard Service of Ukraine named after Bohdan Khmelnytsky, Ukraine

THE RATIONALE FOR THE TIMING OF THE EVENTS MAINTENANCE MULTIFUNCTIONAL AND HETEROGENEOUS COMPOSITION OF RADIO SYSTEMS AND COMPLEXES OF SPECIAL PURPOSE

The work is devoted to analysis of the current fundamental scientific and methodological basis in the operation of complex systems, as shown approaches to the construction and implementation of systems operating as radio systems and special purpose systems that are diverse in purpose and design solution and developed enough. The assertion that happened in the theory and practice of complex technical systems operation as a whole, shows the problem of increasing the effectiveness of the operation of radio systems and systems for special purposes. The urgency of this problem is the development of mathematical models and methods of information and analytical support systems operating as radio systems and special purpose facilities; methods of evaluating the effectiveness of preventive and remedial measures are already operating as scientific and technical justification rational measures the frequency of operation for the condition. This paper shows the methodology of planning the timing of adaptive management technical operation of multi-radio systems and special purpose systems based on statistical and probabilistic models proper functioning of a particular object. Obtained graphically tends probability of correct functioning of complex radio systems with consistent profits posterior information and the use of proceeds of recurrent relations, reasonable terms for routine checks studied radio systems and systems for special purposes. Optimal rate determined by the choice plan which provides for inspections of complex adaptive radio systems.

Keywords: probability of correct functioning; income posterior information; adaptive measures technical operation; statistical and probabilistic models.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Переважна більшість багатофункціональних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення (РТС і КСП) (до складу яких можуть входити: базовий автомобіль, радіолокаційна система, тепловізійна система, засоби оптичного та оптико-електронного спостереження, а також інформаційно-комунікаційні засоби, що володіють потужними обчислювальними ресурсами для вирішення складних завдань) використовується, як правило, в циклічно регулярному режимі. До таких систем загальноприйнятою у даний час є концепція планово-попереджувального проведення профілактико-відновлювальних заходів (технічного обслуговування і ремонту).

Вказана концепція, хоча і не погано зарекомендувала себе на практиці експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, але не завжди відповідає процесу зміни їх технічного стану, що є наслідком її організації в основному по календарному принципу незалежно від індивідуального стану виробів.

При цьому, слід зауважити, що притаманний існуючій системі експлуатації жорсткий по часу та обсягу відповідних організаційно-технічних заходів план технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) складений з урахуванням гарантованого результату, тобто для найгіршого випадку, тому, як свідчить аналіз досвіду експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, є надлишковим як з точки зору періоду взаємодії системи експлуатації з відповідними об'єктами, так і з точки зору обсягу заходів ТО і Р, більшість з яких є зайвими в конкретній ситуації технічного стану певного виробу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Аналіз існуючих підходів до побудови та реалізації системи експлуатації РТС і КСП за станом показав, що в рамках даної області, які найбільш вивчені, на перший план висуваються роботи Баразиловича Е.Ю., Воскобоєва В.Ф., Каштанова В.Н., Дєдкова В.К., Сєверцева Н.А., Креденцера Б.П., Смірнова Н.Н., Іцковича А.А., в яких розроблені фундаментальні теоретичні основи експлуатації техніки широкого використання.

В основу вирішення більшості завдань теорії і практики експлуатації на сучасному етапі покладені ймовірнісно-статистичні методи, викладені в роботах, перелік яких приведений вище. При цьому, виникає

проблема оцінки коректності, точності і риски вживаних рішень, що визначають концепцію експлуатації.

Метою статті являється перегляд існуючих і обґрунтування, на базі отриманої в ході статистико-ймовірнісної моделі, раціональних термінів проведення заходів технічного обслуговування багатофункціональних і різнорідних за складом радіотехнічних систем і комплексів спеціального призначення.

Виклад основного матеріалу дослідження. На думку автора, загальним недоліком, який притаманний всім режимам експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, що ґрунтуються на планово-попереджувальній концепції, є те, що інформація відносно процесу зміни їх технічного стану, на основі якої складаються та реалізуються плани експлуатації, накопичена до моменту вибору правил управління, тобто є апріорною [1]. Такий підхід щодо інформаційного забезпечення процесу експлуатації багатофункціональних РТС і КСП обумовлює наявність вказаних вище недоліків.

При цьому, слід також зауважити, що апріорна інформація є статичною, тобто не відображає еволюцію (деградацію) процесу зміни технічного стану виробів. Статичність інформації приводить до того, що управління технічним станом певних багатофункціональних РТС і КСП за допомогою профілактико-відновлювальних заходів (ПВЗ) здійснюється тільки по положенню, тобто без урахування динаміки розвитку процесу зміни їх технічного стану. Використання тільки апріорної інформації, яка характеризує технічний стан багатофункціональних РТС і КСП, обумовлює детермінованість правил управління ними, а також жорсткість концепції експлуатації та алгоритму взаємодії з об’єктами, що експлуатуються.

Такий підхід до інформаційного забезпечення системи технічної експлуатації багатофункціональних РТС і КСП, на мій погляд, не сприяє реалізації їх потенційного рівня надійності та готовності до використання. Таким чином, реалізація планів ТО і Р на основі неповної і не завжди достовірної інформації щодо реального технічного стану об’єктів призводить до відсутності адекватних заходів технічної експлуатації, що не сприяє збереженню, економічній (раціональній) витраті ресурсу виробів, що експлуатуються, а також своєчасному їх відновленню.

Викладене дозволяє заключити, що одним з найбільш ймовірних напрямів досягнення відповідності між поточним рівнем технічного стану багатофункціональних РТС і КСП і адекватним йому об’ємом ПВЗ, з метою реалізації потенційної довговічності цих засобів, є вдосконалення системи експлуатації шляхом використання апостеріорної інформації щодо їх поведінки на підставі котрої можлива реалізація концепції експлуатації за станом [1, 2].

Організація експлуатації багатофункціональних РТС і КСП за станом висуває необхідність планування заходів ТО і Р за станом відповідних об’єктів. З цією метою автором запропонована методика планування термінів проведення адаптивних ПВЗ, що ґрунтується на статистико-ймовірнісній моделі правильного функціонування відповідного об’єкта [1, 2]. У загальному випадку імовірність правильного функціонування має наступний вигляд:

$$P_{nф}(t) = P_1(t)P_2(t) = \prod_{i=1}^{n} P_{1i}(t)P_{2i}(t), \tag{1}$$

де $P_{1i}(t)$ – імовірність того, що значення визначальних параметрів i-ї функціональної системи багатофункціональних РТС і КСП на протязі часу t не вийдуть за встановлені нормативно-технічною документацією межі; $P_{2i}(t)$ – імовірність того, що за час t в i-й функціональній системі багатофункціональних РТС і КСП не відбудеться раптової відмови, при цьому $i = \overline{1,n}$; n – кількість функціональних систем експлуатації багатофункціональних РТС і КСП (для багатофункціональних РТС і КСП, що розглядаються в даній статті, прийнято: n = 9).

Викладена в [3] теоретико-статистична обробка варіаційних рядів спостережень часу правильного функціонування багатофункціональних РТС і КСП певного типу дозволяє на підставі виразу (1) імовірність їх правильного функціонування представити у наступному вигляді:

$$P_{nф}(t) = e^{-0,00323t-0,001t} = e^{-0,00423t} . \tag{2}$$

Сутність запропонованої автором методики планування термінів проведення профілактико-відновлювальних заходів полягає в прогнозуванні часу t_{k+1} проведення k+1-го виду ТО в залежності від часу t_k попереднього k-го виду обслуговування й апостеріорної імовірності правильного функціонування РТС і КСП у точці t_k. Приймемо, що встановлено мінімально допустимий рівень правильного функціонування РТС і КСП такий, що $P_{nф}(t)=P_0$. У цьому випадку, для прогнозування часу проведення заходів ТО, з метою забезпечення необхідного рівня P_0, скористаємось виразом:

$$t_1 = -\frac{1}{0,00423}\ln P_0. \tag{3}$$

Приймемо час t_1 (рис. 1) терміном першої регламентної перевірки об'єкта, якою передбачається визначення рівня технічного стану i-ї функціональної системи експлуатації у сенсі її правильного функціонування.

Також слід прийняти, що у призначений момент t_1 не відбулося раптової відмови РТС і КСП, а виміри визначальних параметрів i-ї функціональної системи показали, що їх значення знаходяться у

встановлених межах. У цьому випадку, замість апріорної імовірності правильного функціонування, що представлена наступним виразом (2) на момент t_1 варто розглядати апостеріорну імовірність:

$$P_i = e^{-(0,00323-\lambda_i)t_1}, \tag{4}$$

де λ_i – інтенсивність раптових відмов *i*-ї функціональної системи експлуатації. В цьому випадку прибуток імовірності: $\Delta P = P_i - P_0$, сприятиме прибутку Δt_1 фактичного часу t_1 перебування системи експлуатації РТС і КСП у стані правильного функціонування, яким визначається термін наступної регламентної перевірки:

$$t_2 = t_1 + \Delta t_1, \tag{5}$$

що у графічному вигляді представлено на рис. 1. При цьому,

$$\Delta t_1 = t_{ф} - t_1, \tag{6}$$

де $t_{ф}$ – фіктивний час, що визначається рівнянням:

$$t_{ф} = \frac{(0,00323 - \lambda_i)t_1}{0,00423}. \tag{7}$$

Фізичний сенс фіктивного часу, що представлено виразом (7) пояснимо за допомогою рис. 1.

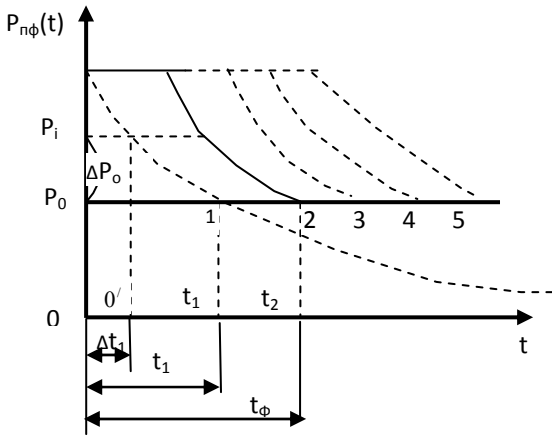

Рис. 1. Характерні тенденції ймовірності правильного функціонування системи експлуатації РТС і КСП при послідовному прибутку апостеріорної інформації

З рис. 1 видно, що тенденція імовірності правильного функціонування системи експлуатації РТС і КСП, відповідно виразу (2), проходить через точку (t_1, P_0). У випадку перебування системи експлуатації в стані правильного функціонування на момент t_1 необхідно та достатньо змістити фактичний початок її роботи в деяку фіктивну точку $0^/$ на відстань Δt_1, спираючись на те, що в проміжку (0, Δt_1) системи експлуатації РТС і КСП функціонувала правильно. При цьому, збільшенню імовірності $\Delta P = P_i - P_o$ буде відповідати збільшення часу Δt_1, яким визначається термін наступної регламентної перевірки t_2, тобто: $t_2 = t_1 + \Delta t_1$. Аналогічно для t_3, t_4 і т.п. На підставі вихідних даних, що отримані в [4], терміни проведення регламентних перевірок для досліджуваних РТС і КСП (за умови відсутності раптових відмов), визначаються на підставі наступних рекурентних співвідношень:

$$\begin{cases} t_1 = -\dfrac{\ell n P_o}{0,00423}; \\ t_{k+1} = t_k(1,24 + \dfrac{\lambda_k}{0,00423}), k = \overline{1,8}, \end{cases} \tag{8}$$

де t – час, виражений у годинах.

Перевірка спроможності виразу (8) проведена на підставі значень інтенсивностей виходу значень визначальних параметрів функціональних систем експлуатації РТС і КСП за встановлені межі, що представлені у табл. 1.

На підставі розрахунків, що проведені на базі виразу (8), з використанням вихідних даних, що представлені в табл. 1, отримані значення термінів проведення регламентних перевірок функціональних систем відповідних РТС і КСП, які зведені у табл. 2.

Таблиця 1

Значення інтенсивностей параметричних відмов функціональних систем експлуатації РТС і КСП

Функціональна система експлуатації РТС і КСП	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
Інтенсивність параметричних відмов (λ_i, 1/год.)	$2{,}7\cdot10^{-4}$	$7\cdot10^{-4}$	$5\cdot10^{-4}$	$3{,}8\cdot10^{-4}$	$4{,}1\cdot10^{-4}$	$1{,}2\cdot10^{-4}$	$2{,}8\cdot10^{-4}$	$4\cdot10^{-4}$	$1{,}7\cdot10^{-4}$

Таблиця 2

Розрахунковий час регламентних перевірок функціональних систем експлуатації РТС і КСП

Порядковий номер перевірок	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Функціональна система експлуатації РТС і КСП	X_2	X_3	X_5	X_8	X_4	X_7	X_1	X_9	X_1
t, год.	53	74	92	110	127	145	161	177	191

У табл. 2 значення *t* розраховано за умови: P_0=0,8. При цьому, слід зазначити, що десятою регламентною перевіркою передбачається повна перевірка і технічне обслуговування всіх функціональних систем експлуатації РТС і КСП. Розрахунковий час цієї перевірки складає близько 200-210 год., після чого представлений в табл. 2 цикл повторюється в аналогічній послідовності.

Залежно від ресурсних обмежень і обстановки, що складається у певному секторі радіотехнічного спостереження, у викладеній методиці адаптивного планування заходів технічної експлуатації можуть бути передбачені двох-, трьох-, та *k*-системні перевірки. Вибір оптимального плану адаптивних перевірок технічного стану визначається певним показником оптимальності, що запропоновано автор у наступному вигляді:

$$W = \tau_{cp_{ад}} / \tau_{cp}, \tag{9}$$

де $\tau_{cp_{ад}}$ – середній час напрацювання до повної відмови системи експлуатації РТС і КСП, що обслуговується в терміни визначені на підставі виразу (8); τ_{cp} – середній час наробітку до повної відмови системи експлуатації РТС і КСП, що обслуговується за планово-попереджувальною концепцією.

Результати моделювання показали, що найбільш раціональним планом є послідовність багатосистемних перевірок системи експлуатації РТС і КСП наступного виду:

$$\begin{gathered} X_2(53)\to(X_2,X_3)(74)\to(X_2,X_3,X_5)(101)\to(X_2,X_3,X_5,X_8)(133)\to(X_2,X_3,X_5,X_8,X_4)(171)\to \\ \to(X_2,X_3,X_5,X_8,X_4,X_7)(213)\to(X_2,X_3,X_5,X_8,X_4,X_7,X_1)(258)\to \\ \to(X_2,X_3,X_5,X_8,X_4,X_7,X_1,X_9)(307)\to(X_2,X_3,X_5,X_8,X_4,X_7,X_1,X_9,X_6)(359). \end{gathered} \tag{10}$$

Послідовністю (10) представлені сукупності функціональних систем експлуатації РТС і КСП, що підлягають регламентним перевіркам і час їх проведення.

Висновки. У даній статті наведено методику планування термінів проведення заходів технічної експлуатації багатофункціональних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення, що ґрунтується на статистико-ймовірнісній моделі правильного функціонування конкретного об’єкта. Одержано графічно характерні тенденції ймовірності правильного функціонування складних радіотехнічних систем при послідовному прибутку апостеріорної інформації та з використання одержаних рекурентних співвідношень, обґрунтовані терміни проведення регламентних перевірок для досліджуваних радіотехнічних систем та комплексів спеціального призначення. Визначено показник оптимальності за яким передбачено вибір плану адаптивних перевірок стану систем експлуатації РТС і КСП.

Дотримання алгоритму, що рекомендується автором у статті, гарантує високі значення критерію оптимальності *W*=1,8-3, чим забезпечується збільшення значень показників надійності відповідних систем експлуатації РТС і КСП в середньому на 16–20%.

Література

1. Барзилович Е. Ю. Эксплуатация авиационных систем по состоянию / Е. Ю. Барзилович, В. Ф. Воскобоев. – М. : Транспорт, 1981. – 196 с.

2. Смирнов Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по техническому состоянию / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. – М. : Транспорт, 1980. – 232 с.

3. Барзилович Е. Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е. Ю. Барзилович, В. Н. Каштанов. – М. : Сов. радио, 1971. – 272 с.

4. Зубарев В. В. Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиоэлектронных систем : монография. / В. В. Зубарев, А. П. Ковтуненко, Л. Г. Раскин. – К. : Книжное изд–во НАУ, 2005. – 184 с.

Рецензія/Peer review : 4.10.2016 р. Надрукована/Printed : 29.10.2016 р.
Рецензент: к.т.н., доцент Чесановський І.І.