

Білий М.Ф., магістр, Аніпко О.Б., д. техн н., професор

## ДИСТРИБУТИВНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ГОТОВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПАРКУ З ФОРМАЛІЗАЦІЄЮ ПРИХОВАНИХ ВІДМОВ

*Харківський національний університет повітряних сил імені І.М. Кожедуба, Харків*

**Ключові слова:** готовність техніки, відмова, прихована відмова, вірогідність відновлення, дистрибутивний підхід.

При дослідженні кількісних характеристик надійності вельми важливим є поняття готовності. Під готовністю розуміється стан системи, коли працездатні всі елементи, які складають систему, в будь-який момент і на протязі визначеного часу виконувати завдання. При цьому стосовно до систем військового значення відмітимо, що готовність системи до негайного використання по призначенню розуміється незалежно від того, є система відновлювана або невідновлювальна. Потрібно, щоб з визначеного моменту часу система забезпечувала виконання заданих функцій. Для забезпечення готовності зазвичай передбачені роботи, пов'язані з виявленням, усуненням і попередженням відмов.

Ця проблема має місце не приходяще значення практично для всіх країн, в тому числі – розробників і виробників авіаційної техніки.

Так по даним газети Defence News коефіцієнт готовності для виконання бойового завдання тактичних винищувачів F-35, F-22, F-18 и F-16 ПС США повинен бути підвищений до кінця вересня 2019 року до 80 % Defence News вважає цю задачу вельми важкою, оскільки нинішній коефіцієнт бойової готовності винищувачів значно нижче. Видання констатує, що коефіцієнт боєготовності льотної техніки ВПС в 2017 році склав 71,3 %, що нижче, ніж в 2016 році – 72,1 %. Для окремих груп літаків показник ще нижче – 70 %, 54 % і навіть 49 %.

В Франції у порівнянні з 2014 роком, вартість обслуговування зросла до 95,7 млн євро. Цей зріст може здатися незначним, але кількість літаків в бойових частинах знизилась не дуже значно, в особливості через списання винищувачів Dassault Mirage F.1. Але це може пояснитися, можливо, зростою інтенсивністю експлуатації літаків за останні роки. Справність 93 винищувачів Dassault Rafale В і С знаходяться на відносно стабільному рівні з року в рік (48,5 % проти 47,7 % в 2014 році). Але в той же час вартість експлуатації значно зросла з 226,4 до 343,9 млн. євро. В середньому, рівень справних Mirage 2000 підтримується на одному рівні. Але для Mirage 2000D, які активно використовуються на Близькому Сході і Північній Африці, справність впала з 38,7 % до 32,9 %, а для Mirage 2000В – зросла (45,6 % і 41,7 % в 2014 році). Для Mirage 2000С ці показники залишаються на стабільному рівні – приблизно 45 %, а для Mirage 2000-5 навіть дещо зросли (39,1 % у порівнянні з 37,5 %).

Не має і бундесвер достатню кількість винищувачів. По інформації журналу Der Spiegel, з 129 винищувачів Eurofighter, який стоїть на озброєнні німецьких ВПС, тільки вісім готові о виконання бойових завдань. При цьому арсеналу ракет класу «повітря — повітря», якими володіє бундесвер, достатньо для оснащення тільки чотирьох літаків.

Серйозні несправності зафіксовані і у військових літаків Tornado, розроблених в 1970-х роках європейськими оборонними компаніями.

Зараз з тих що залишилися на озброєнні ВПС ФРГ 86 машин цього типу у стрій можуть стати тільки 30.

Як видно з наведених прикладів готовність техніки далека від 100 %. У теперішній час відомі два способи наближення технічних приладів до стовідсоткової готовності. Перший спосіб – створення пристроїв з високою безвідмовністю, їх готовність на протязі всього періоду експлуатації (чи хоча б на протязі періоду міжремонтного ресурсу) буде прагнути до 100 %. Другий спосіб – створення технічних пристроїв максимально пристосованих до виявлення, усунення і попередження відмов, що технічно і організаційно дозволяє відносно швидко відновити працездатність елементів які відмовили і забезпечити їх стовідсоткову готовність на протязі міжремонтного ресурсу. Часто другий спосіб виявляється найбільш доцільним, оскільки витрати на створення і експлуатацію елементів і бортових систем зі стовідсотковою безвідмовністю можуть бути неприпустимо більшими. Крім цього, не завжди можливо забезпечити стовідсоткову безвідмовність.

Для оцінки готовності елементів і систем служать коефіцієнти готовності, які зв'язують показники безвідмовності і відновлюваності.

Виявляється зрозумілим, що для систем які створювалися 30 і більше років тому застосовується другий спосіб. При цьому потік заявок можна рахувати найпростішим

Розглянемо найпростіший потік подій як необмежену послідовність випадкових точок. Виділимо довільну ділянку часу довжиною  $\tau$ . За умов стаціонарності, відсутності післядії і ординарності числа точок, що потрапили на ділянку, розподілено по закону Пуассона з математичним очікуванням

$$\bar{a} = \lambda \tau, \quad (1)$$

де  $\lambda$  – щільність потоку (середнє число подій, що проходить на одиницю часу).

Вірогідність того, що за час  $\tau$  відбудеться  $m$  подій

$$P_m(\tau) = \frac{(\lambda \tau)^m}{m!} e^{-\lambda \tau} \quad (2)$$

вірогідність того, що ділянка виявиться порожньою (не відбудеться жодної події),

$$P_0(\tau) = e^{-\lambda \tau}. \quad (3)$$

Але такі оцінки прийнятні коли мається статистика подій, при чому ці події незалежні. Важче складаються справи з прихованими відмовами, які можуть накопичуватись, проявлятися не одразу і не піддаватися діагностиці наявними засобами.

Для вирішення цієї задачі пропонується на відміну від відомих методів не зводити всі відмови на одну часову вісь, а спочатку розкасувати їх у відповідності з фізичними процесами що привели до відмови і для кожного з них використати свою часову вісь.

Так відповідно до таких процесів відносяться:

- корозія;
- вібрація;
- тертя та знос;
- тиск;
- температурне навантаження;
- електромагнітне поле;
- сонячне випромінювання;
- волога.

Такий підхід названий дистрибутивним і відображає той фізичний факт, що швидкість перетікання перерахованих процесів різна, а отже і інтенсивність буде неоднакова. Прихована відмова як правило погано піддається діагностиці і може не проявлятися явно довгий час, інколи до кінця експлуатації. Крім цього, прихована відмова може бути пов'язаний і з відмовою технічних засобів діагностики. В цьому випадку інтенсивність відновлення  $\lambda \rightarrow 0$  середній час відновлення  $T_B \rightarrow \infty$ , а отже і вірогідність відновлення  $P_B = 0$ . Ці формальні показники прихованої відмови представляються як граничний випадок. При моделюванні щоб отримати нетривіальний результат необхідно задати ненульові, але фізичні значення вірогідності відновлення  $P_B$  і інтенсивності відновлення по аналогії з підходом розробленим професором Л.Г. Раскіним для вирішення матриць переходів в задачах масового обслуговування.

#### Література

1. Handbook of military industrial engineering / editors, Adedeji B. Badiru, Marlin U. Thomas ISBN 978-1-4200-6628-9 2009 by Taylor & Francis Group, LLC. CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group.
2. MILITARY HANDBOOK ELECTRONIC RELIABILITY DESIGN HANDBOOK MIL-HDBK-338B 1998 1046 p.
3. Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers/ editors R. Smith, R.K. Modly 314 p.
4. Труханов В.М. Надежность систем типа подвижных установок на этапе проектирования и испытания опытных образцов. – М Машиностроение, 2003.
5. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Управление надёжностью объектов авиационной техники как сложных технических систем. Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2005. – Вип. №2. – С. 145–149.
6. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Статистическая однородность выборки данных об отказах при эксплуатации вертолетных двигателей. Інтегровані технології та енергозбереження. – Х.: НТУ "ХПІ". – 2007. – Вип. №3. – С.37–41.
7. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Эксплуатационный цикл авиационного двигателя как критерий оценки его ресурса. Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУ ПС. – 2006. – Вип. №2(8). – С.4–6.
8. Іленко Є.Ю., Аніпко О.Б. Прогнозирование остаточного ресурса объектов вооружения и военной техники в нерасчетных условиях эксплуатации. Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. – Х.: НАКУ ім. Н.Е. Жуковського "ХАІ". – 2008. – Вип. №1(52). – С.15–20.
9. The Military Balance 2014 IISS, 2014. – ISBN 978-1-85743-722-5.
10. The Military Balance 2016 NY: The International Institute For Strategic Studies, 2016. – 501 p.
11. The Military Balance 2018 February 2018. IISS.
12. The Military Balance 2019 February 2019. IISS.

#### Bibliography (transliterated)

4. Truhanov V.M. Nadezhnost sistem tipa podvizhnyih ustanovok na etape proektirovaniya i ispytaniya opytnyih obraztsov. – M Mashinostroenie, 2003.

5. Ilenko E.Yu. Anipko O.B. Upravlenie nadyozhnostyu ob'ektov aviatsionnoy tehniki kak slozhnykh tehnikeskikh sistem. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. – H.: NTU "HPI". – 2005. – Vip. #2. – P. 145–149.

6. Ilenko E.Yu. Anipko O.B. Statisticheskaya odnorodnost vyiborki dannykh ob otkazah pri ekspluatatsii vertoletnykh dvigateley. Integrovani tehnologiyi ta energozberezheniya. – H.: NTU "HPI". – 2007. – Vip. #3. – P. 37–41.

7. Ilenko E.Yu., Anipko O.B. Ekspluatatsionniy tsikl aviatsionnogo dvigatelya kak kriteriy otsenki ego resursa. Zbirnik naukovih prats HUPS. – H.: HU PS. – 2006. – Vip.#2(8). – P. 4–6.

8. Ilenko E.Yu. Anipko O.B. Prognozirovaniye ostatochnogo resursa ob'ektov vooruzheniya i voennoy tehniki v neraschetnykh usloviyakh ekspluatatsii. Voprosy proektirovaniya i proizvodstva konstruktsiy letatelnykh apparatov. – H.: NAKU Im. N.E. Zhukovskogo "NAI". – 2008. – Vip. #1(52). – P. 15–20.

УДК 62.192

Білий М.Ф., магістр, Аніпко О.Б., д. техн. н., професор

### **ДИСТРИБУТИВНИЙ ПІДХІД ДО АНАЛІЗУ ГОТОВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПАРКУ З ФОРМАЛІЗАЦІЄЮ ПРИХОВАНИХ ВІДМОВ**

На підставі даних про технічний стан парку авіаційної техніки збройних сил розвинутих країн США, Франція, Німеччина показує, що рівень її бойової готовності з кожним роком знижується через старіння і умови експлуатації. На даний момент рівень бойової готовності момент у багатьох випадках не більше 50 % при чому по окремих типах літальних апаратів може бути більше. У зв'язку з цим висувуються вимоги підвищення бойової готовності. В Україні дане питання також має місце, але воно ускладнюється у зв'язку з тим, що ресурс наявного парку авіаційної техніки на рівні граничного ресурсу, а іноді і переходить граничний ресурс.

Показанні два шляхи вирішення завдання і обґрунтовано що для вітчизняної авіаційної техніки прийнятним є другий шлях до чого рішення задач тільки з комплексним підходом який повинен включати аналіз типових відмов із застосуванням відомого статичного методу з допущенням найпростішого потоку відмов і урахуванням прихованих відмов для яких певний маються певні характерних ознак і розглянуто граничний випадок з урахуванням математичних труднощів вирішення завдань запропоновано підхід дозволяє отримати прийнятне рішення матричного переходу. Крім цього відмови розподіляються за ознаками фізичних процесів, що призводять до відмови відповідним розподілом їх на осі часу. Такий підхід названий дистрибутивним таким чином він враховує, як фізичний процес приводить до відмови, так і той факт, що розкладання процесів протікає з різною швидкістю, а отже, і інтенсивність буде різною.

**Ключові слова:** готовність техніки, відмова, прихована відмова, вірогідність відновлення, дистрибутивний підхід.

Белый М.Ф., магистр, Анипко О.Б., д. техн. н., профессор

### **ДИСТРИБУТИВНИЙ ПОДХІД К АНАЛІЗУ ГОТОВНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ПАРКА С ФОРМАЛІЗАЦІЄЮ СКРИТЫХ ОТКАЗОВ**

На основании данных про техническое состояние парка авиационной техники вооруженных сил развитых стран США, Франция, Германия показывает, что уровень ее

боевой готовности с каждым годом снижается по причине старения и условий эксплуатации. На данный момент уровень боевой готовности момент во многих случаях не больше 50 % при чем по отдельных типах летательных аппаратов может быть больше. В связи с этим выдвигаются требования повышения боевой готовности. В Украине данный вопрос также имеет место, но оно усложняется в связи с тем, что ресурс имеющегося парка авиационной техники на уровне граничного ресурса, а иногда и переходит граничный ресурс.

Показанные два пути решения задачи и обосновано что для отечественной авиационной техники приемлемым является второй путь при чем решение задач только с комплексным подходом который должен включать анализ типичных отказов с применением известного статического метода с допущением простейшего потока отказов и учетом скрытых отказов для которых есть определенный характерных признаков и рассмотрен предельный случай с учетом математических трудностей решения задач предложено подход позволяющий получить приемлемое решение матричного перехода. Кроме этого отказы распределяются по признакам физических процессов, приводящих к отказу соответствующим распределением их на оси времени. Такой подход назван дистрибутивным таким образом он учитывает, как физический процесс приводящий к отказу, так и тот факт, что разложение процессов протекает с разной скоростью, а следовательно, и интенсивность будет разной.

**Ключевые слова:** готовность техники, отказ, скрытая отказ, вероятность восстановления, дистрибутивный подход.

Bilyy M.F., Anipko O.B.

## DISTRIBUTIVE APPROACH TO ANALYSIS OF READINESS OF THE AVIATION PARK WITH FORMALIZATION OF HIDDEN FAILURES

Based on data on the technical condition of the aircraft fleet of the armed forces of developed countries of the USA, France, Germany, it shows that its level of combat readiness decreases every year due to aging and operating conditions. At the moment, the level of combat readiness is, in many cases, not more than 50 %, and for some types of aircraft it can be more. In this regard, demands are being raised for increased combat readiness. In Ukraine, this issue also takes place, but it is becoming more complicated due to the fact that the resource of the existing fleet of aviation equipment is at the level of the boundary resource, and sometimes it crosses the boundary resource.

The two ways of solving the problem are shown and it is justified that for domestic aviation technology the second way is acceptable, and the solution of problems is only with an integrated approach that should include the analysis of typical failures using the well-known static method with the simplest flow of failures and taking into account hidden failures for which there are certain characteristic features and the limiting case is considered, taking into account the mathematical difficulties of solving problems, an approach is proposed that allows to obtain an acceptable solution to the matrix transition. In addition, failures are distributed according to the signs of physical processes leading to failure by their corresponding distribution on the time axis. This approach is called distributive, so it takes into account both the physical process leading to failure and the fact that the decomposition of processes proceeds at different speeds, and therefore the intensity will be different.

**Keywords:** technical readiness, failure, latent failure, probability of recovery, distributive approach.