

УДК 629.735.083.06

**В.М. Воробйов**, д-р техн. наук  
**В.П. Захарченко**, канд. техн. наук  
**В.М. Казак**, д-р техн. наук  
**А.А. Кічігін**, канд. техн. наук

## СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОРТОВИХ КОМПЛЕКСІВ АВІОНІКИ НА ЖИТТЄВОМУ ЦИКЛІ

Національний авіаційний університет, fsu@nau.edu.ua

*Запропоновано структурування показників та параметрів оцінки ефективності функціональних комплексів повітряних суден. Використання розробленої структури дозволяє створити методологічний базис для забезпечення ефективної реалізації та управління процесами проектування, виробництва, сертифікації та експлуатації вказаних комплексів.*

### Постановка проблеми

Для розвитку світового та вітчизняного авіаційного будівництва та ринку авіаційних перевезень актуальним є раціональне вирішення проблеми забезпечення необхідного рівня безпеки польотів повітряних суден (ПС) та підвищення ефективності експлуатації авіаційної техніки. Одним із напрямів вирішення означеної проблеми є оптимізація результатів роботи багатьох підприємств та установ за напрямками їх діяльності:

- виробничої, спрямованої на забезпечення заданих рівнів льотно-технічних характеристик;
- науково-технічної, спрямованої на поліпшення експлуатаційно-технічних характеристик і режимів програмованої експлуатації;
- соціальної;
- економічної;
- управлінської.

### Постановка задачі

Безпосередньою задачею дослідження є розробка системи оціночних показників, за якими можна провести контроль якості функціонування систем ПС і корекцію програм їх технічного обслуговування та ремонту, спрогнозувати їх поведінку на майбутній період експлуатації. Система показників, яка розробляється, може слугувати методологічним базисом для вирішення задачі створення та експлуатації зразків бортових комплексів ПС високої якості.

### Місце задачі в контурі проблеми підвищення ефективності експлуатації авіаційної техніки

Одним із шляхів вирішення проблеми розробки високоефективних бортових комплексів ПС є координація дій її розробників та експлуатантів, а також реалізація якісного управління процесами на всіх стадіях її життєвого циклу (ЖЦ):

- створення високонадійних функціональних систем та комплексів на етапі проектування;
- розробка комплексу необхідної документації для кваліфікації створеного обладнання на етапі сертифікації;
- розробка технологій створення конструкції ПС, монтажу авіаційного обладнання на етапі серійного виробництва;
- контроль якості функціонування комплексів та адаптація програм та режимів льотної та технічної експлуатації до підвищених вимог щодо забезпечення рівнів безпеки та регулярності польотів ПС та витрат на їх експлуатацію на етапі експлуатації.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку складних авіаційних систем і комплексів авіоніки ПС дозволяє виявити закономірності, які присутні на стадіях їх ЖЦ:

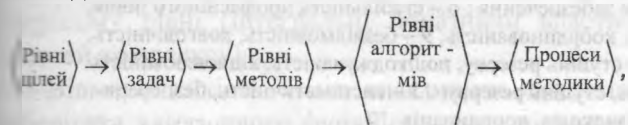
- відповідно до темпів науково-технічного прогресу період корисного життя в рамках ЖЦ скорочується;
- реалізаційний період ЖЦ зростає, як і відповідні витрати, що обумовлено ускладненням вирішення задач підвищення рівня безпеки польотів та ефективності функціонування систем і ПС у цілому;
- проведення широкомасштабних сертифікаційних досліджень на періоді реалізації ЖЦ, коли існує можливість сертифікувати 70–85% обладнання до першого випробувального польоту ПС за рахунок використання методів математичного, напівнатурного і фізичного моделювання;
- механізми реалізації льотно-технічних та експлуатаційно-технічних характеристик можуть бути розкриті через внутрішні властивості будови, функціонування, сертифікації, адаптації і розвитку авіоніки і ПС на ЖЦ;
- впровадження програмованої експлуатації можливе через розробку основних принципів організації інтегрованої автоматизованої системи управління експлуатацією.

У цільовому аспекті програмування ЖЦ бортового комплексу ПС – це процес оптимального управління його розробкою і функціонуванням на основі розв'язку таких задач:

- формування системних критеріїв ефективності для всіх етапів ЖЦ;
- оптимального розподілу ресурсів по стадіях і етапах ЖЦ;
- формування принципів для організації програмованої експлуатації на базі створення інтегрованої системи управління авіаційними підприємствами.

Для забезпечення необхідного рівня ефективності експлуатації ПС формується комплекс функцій і задач, що забезпечують їхню реалізацію. Функції формуються для авіаційних підприємств у вигляді програмних заходів, а сама програма являє собою комплекс конкретних дій для досягнення цілей у встановлений термін.

Грунтуючись на результатах, досягнутих на сучасному етапі в області загальносистемного проектування складних систем, можна вважати, що формування вимог у задачах системної оптимізації може бути подане в такій логічній послідовності:



а процес управління реалізується в протилежному напрямку.

Системні вимоги містять у собі три групи:

- вимоги до якості процесів;
- вимоги до ресурсів, які витрачаються;
- вимоги до характеристик динаміки процесів на ЖЦ (проекування, виробництва, експлуатації).

Поставлена задача підвищення ефективності функціонування бортових комплексів ПС вирішується за допомогою використання сучасних математичних методів і на основі нових інформаційних технологій. Основу процесів складають методи системного управління ефективністю на етапах ЖЦ з використанням методів і моделей системної оптимізації, а також наукового базису створення й експлуатації систем і комплексів авіоніки.

Управління ефективністю функціонування функціональних систем (ФС) ПС організується через розкриття їхніх внутрішніх властивостей, а реалізується – через раціональне використання їх виявлених внутрішніх резервів чи привнесення додаткових з метою забезпечення вимог щодо безпеки польотів та економічності існуючої або перспективної експлуатації.

### Розробка системи оціночних показників ефективності функціонування бортових комплексів повітряних суден

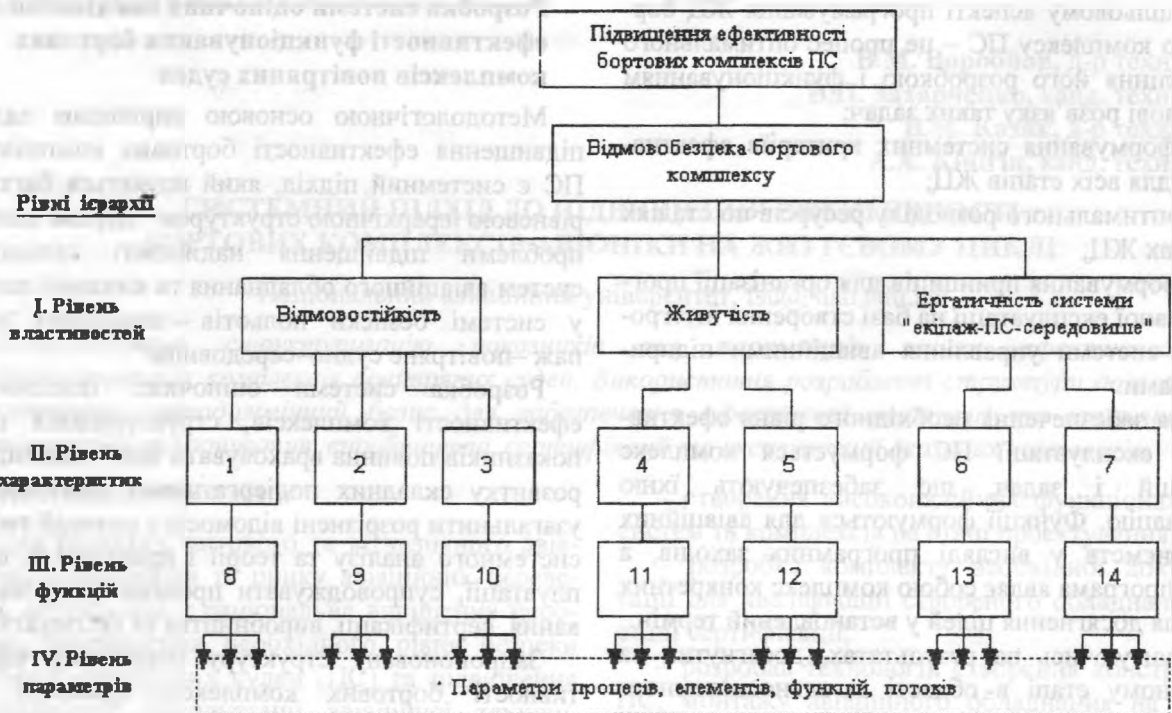
Методолгічною основою вирішення задач підвищення ефективності бортових комплексів ПС є системний підхід, який подається багаторівневою ієрархічною структурою “дерева цілей” проблеми підвищення надійності складних систем авіаційного обладнання та кінцевої ланки у системі безпеки польотів – комплексу “екіпаж – повітряне судно – середовище”.

Розробка системи оціночних показників ефективності комплексів, структуризація цих показників повинна враховувати нові тенденції у розвитку складних поліергатичних комплексів, узагальнити розрізнені відомості з позицій теорії системного аналізу та теорії і практики їх експлуатації, супроводжувати процеси їх проектування, сертифікації, виробництва та експлуатації.

Запропоновану структуру показників ефективності бортових комплексів показано на рисунку. Структура має ієрархічний характер і складається з рівня проблеми – підвищення ефективності бортових комплексів ПС – та чотирьох рівнів, що характеризують його як складну поліергатичну систему: властивостей, характеристик, функцій та параметрів комплексу. Для оцінки досягнутого рівня ефективності функціонування комплексу та формування методів управління процесом підвищення цього рівня вводиться критерій ефективності та його оціночний показник.

Зупинимось більш детально на обґрунтуванні запропонованого критерію ефективності ФС. При розробці та обґрунтуванні критерію ефективності бортових комплексів ПС принципово важливо забезпечити його системний характер. Такий критерій повинен давати інтегральну характеристику всім визначальним властивостям комплексу, а також всім аспектам його функціонування та експлуатації: організаційно-управлінському, льотно-технічному, експлуатаційно-технічному та ін. Усі зазначені вимоги призводять до необхідності впровадження поняття системної ефективності як інтегрального критерію бортового комплексу ПС.

Під системною ефективністю [1; 2] розуміють узагальнену сукупність властивостей поліергатичних комплексів “екіпаж – ПС – середовище” або “екіпаж – ФС – середовище”, яка оцінюється показниками їх будови, надійності і функціонування, адаптації і розвитку на всіх стадіях ЖЦ при обмеженнях на системні ресурси і реалізує свої можливості в умовах програмованої експлуатації.



“Дерево цілей” вирішення проблеми підвищення ефективності бортових комплексів ПС на ЖЦ:

1 – стабільність відмовостійкості; 2 – надійність обладнання; 3 – надійність програмного забезпечення; 4 – живучість технічного обладнання; 5 – живучість програмного забезпечення; 6 – стабільність професійного рівня; 7 – надійність екіпажу ПС; 8 – кваліфікація, безпомилковість, координованість; 9 – безвідмовність, довговічність, технологічність; 10 – самоконтрольованість, швидкодія; 11 – ступінь резерву, пошкоджуваність, відновлюваність, заводо захищеність; 12 – адаптивність, самовідновлювальність, ступінь резерву; 13 – систематичність, безперервність, контрольованість; 14 – готовність, безпомилковість, швидкодія, координація

Під програмованою експлуатацією [2] розуміють логічно обґрунтовану послідовність реалізації функцій указаних комплексів як інформаційної категорії систем автоматичного проектування, діагностики, прогнозування, контролю відповідно до їх існування на різних стадіях ЖЦ, а саме: <проектування> → <сертифікація> → <серійне виробництво> → <експлуатація>.

У загальному вигляді системна ефективність бортового комплексу ПС може бути охарактеризована деяким функціоналом:

$$E = E(C, \Phi, Z, EM, C, A, P, EP, B_6, B_c, \dots),$$

де  $C$  – показники високої цілісності комплексу;  $\Phi$  – показник якості функціонування комплексу;  $Z$  – показник заводо захищеності комплексу;  $EM$  – показник електромагнітної сумісності обладнання комплексу;  $C$  – показник результатів сертифікації комплексу на стадіях ЖЦ;  $A$  – показник адаптації комплексу до зміни умов експлуатації;  $P$  – показник розвитку комплексу модифікації і уніфікації його обладнання в структурі авіоніки ПС;  $EP$  – показник ергономічності;  $B_6$  – показник відмовобезпеки;  $B_c$  – показник відмовостійкості комплексу.

Як критерій ефективності ФС пропонується відмовобезпека – показник ергатичної системи, який оцінюється ймовірністю того, що несприятливий вплив на її функціонування одного чи декількох збурюючих факторів буде повністю чи частково парироватися за рахунок її ресурсів за визначений час [1; 2; 3]. Враховуючи те, що комплекс взаємодіючих структур, колективів і середовища: “екіпаж-ПС-середовище” є кінцевою ланкою в системі безпеки польотів, для кількісної оцінки рівня ефективності його функціонування та експлуатації може бути запропонований інтегральний оціночний показник ефективності, а саме – ймовірність успішного завершення польоту  $P_{узн}(t)$ :

$$P_{узн}(t) = \sum_{a=1}^k P_{пс}(t) \sum_{b=1}^m P_{жив}(t) \sum_{c=1}^n P_{ер}(t),$$

де  $k$  – кількість можливих видів і сполучень умов комплексу;  $P_{пс}(t)$  – ймовірність виникнення відмов у бортовому комплексі;  $m$  – кількість можливих типів і видів небезпечних зовнішніх впливів;  $P_{жив}(t)$  – ймовірність якісного функціонування бортового комплексу в умовах небезпечних зовнішніх впливів, тобто екстремаль-

них умов застосування;  $n$  – кількість видів можливих дій екіпажу та автоматичних систем, призначених для локалізації небезпечних ситуацій на борту під час польоту;  $P_{ер}(t)$  – імовірність прийняття правильних рішень екіпажем при взаємодії з обладнанням комплексу в умовах польоту.

Залежність зазначених імовірностей від часу  $t$  підкреслює динаміку виникнення особливих польотних ситуацій на всіх його етапах. Отже, запропонований комплексний оціночний показник ефективності функціонування та експлуатації комплексу “екіпаж–ФС–середовище”  $P_{узп}(t)$  поєднує показники оцінки його основних властивостей: побудови, функціонування та експлуатації.

Складові показника системної ефективності бортових комплексів взаємно корельовані, пов’язані між собою неоднозначно і залежать від умов польоту та багатьох інших факторів. У задачах підвищення рівнів безпеки та регулярності польотів ПС з авіонікою вони можуть бути зведені до показників властивостей високої цілісності і високої готовності [1], а саме, до показників відмовостійкості, живучості та ергатичності [2; 3]. Показники цих властивостей ФС у розробленій структурі, розміщено на її першому рівні (інтегральні показники властивостей комплексу).

Відмовостійкість – це властивість системи зберігати якість свого функціонування після виникнення відмов її елементів або програмного забезпечення.

Показник відмовостійкості як властивості комплексу оцінюється ймовірністю того, що система буде функціонувати на визначеному рівні якості після того, як відбудеться відмова (чи кілька відмов) у компонентах її апаратури чи її програмного забезпечення.

Живучість є властивістю комплексу функціонувати на визначеному рівні якості в екстремальних умовах його експлуатації (пошкодження, дії небезпечних зовнішніх впливів).

Ергатичність комплексу – це його властивість зберігати якість свого функціонування у взаємодії з операторами, враховуючи їх професійний рівень та психофізіологічні властивості організму людини.

Показником ергатичності комплексу може бути ймовірність того, що рівень відмово-безпеки людино-машинної системи залишається стабільним на визначеному відрізку часу функціонування за рахунок технологій її управління у процесі польоту, глибини знань і операторських навичок екіпажу.

Другий рівень структури утворюють характеристики комплексу (комплексні показники

характеристик), які репрезентують її властивості таким способом:

- відмовостійкість через характеристики надійності апаратури, програмного забезпечення її роботи, а також інженерно-технічного складу (на рисунку – це відповідно характеристики надійності обладнання, програмного забезпечення, а також стабільності відмовостійкості);

- живучість через характеристики живучості обладнання та програмного забезпечення;

- ергатичність комплексу “екіпаж–ФС–середовище” через характеристики якостей екіпажа ПС у цілому і індивідуально його членів (надійність екіпажу), а також рівня якості системи підготовки операторів (стабільність професійного рівня).

Третій рівень структури займають показники ефективності комплексу, які розкривають функції окремих його характеристик.

Так, для характеристики надійності обладнання комплексу як складові можна навести функції безвідмовності, довговічності та технологічності.

Для характеристики стабільності відмовостійкості функціями-складниками є кваліфікація інженерно-технічного складу, безпомилковість та координація його дій.

Для характеристики живучості технічного обладнання використовують такі функції: ступінь резервування систем та елементів, їх пошкоджуваність, відновлюваність та завадо-захищеність, для характеристики надійності програмного забезпечення – адаптивність, відновлюваність, ступінь резервування програмних засобів.

Характеристика надійності екіпажу ПС включає в себе функції як готовності, безпомилковості, швидкодії окремих членів екіпажу, так і координації його дій в цілому.

Стабільність професійного рівня екіпажу як характеристика ергатичності складається з таких функцій рівня підготовки операторів: систематичності контролю знань, безперервності та контрольованості підготовки.

На четвертому рівні структури розташовано показники, які через свою природу можна вважати найпростішими (початковими). У своїй сукупності вони утворюють окремі показники функцій комплексу, які розташовано на третьому рівні структури. Так, функція безвідмовності може бути оцінена за рахунок використання параметрів імовірності безвідмовної роботи, гамма-процентного напрацювання на відмову, середнього напрацювання на відмову, інтенсивності відмов, параметра потоку відмов та ін.



До параметрів функції довговічності обладнання відносяться:

- гамма-процентний ресурс;
- середній ресурс;
- гамма-процентний термін служби;
- середній термін служби.

До параметрів функції технологічності обладнання відносяться:

- імовірність відновлення;
- інтенсивність відновлення;
- гамма-процентний час відновлення;
- середній час відновлення;
- середня трудоемність відновлення.

Для характеристик живучості комплексу можуть бути використані параметри процента відмов елементів комплексу, які викликають відмову його в цілому – для характеристики пошкоджуваності, ступеня погіршення властивостей комплексу в процесі і після закінчення дії збурень – для характеристики відновлюваності та ін.

Як окремі параметри функцій ергатичності комплексу “екіпаж–ПС–середовище” можна використовувати час готовності членів екіпажу до виконання операцій, швидкість виконання операцій, імовірність виправлення помилок за визначений час.

## Висновки

Запропонована структуризація показників функціонування бортових комплексів ПС дозволяє узагальнити та систематизувати їх для якісної реалізації в структурі системної моделі підвищення ефективності комплексів. Використання створеної структури дозволяє створити методологічний базис для забезпечення ефективного управління процесами проектування, виробництва, сертифікації та експлуатації авіоніки, тобто на всіх стадіях її ЖЦ.

## Список літератури

1. Воробьев В.М., Захарченко В.А., Ваику О.Ж., Воробьев А.В. Системная эффективность комплекса “экипаж–воздушное судно–среда”// Кибернетика и вычислительная техника. – Вып. 126. – К.: Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАНУ, 2000. – С. 48–76.
2. ДСТУ 3589-87. Системи та комплекси авіаційного обладнання. Надійність та експлуатація. Терміни та визначення. – Введений 31.07.1997. – К.: Держстандарт України, 1989. – 28 с.
3. Воробьев В.М. Надежность и эксплуатация систем управления механизацией крыла воздушных судов. – К.: КИИГА, 1989. – 158 с.

Стаття надійшла до редакції 03.04.03.

В.М. Воробьев, В.А. Захарченко, В.М. Казак, А.А. Кичигин

Системный подход к повышению эффективности бортовых комплексов авионики на жизненном цикле

Методологической основой решения задач повышения эффективности бортовых комплексов воздушных судов является системный подход, который представлен многоуровневой иерархической структурой “дерева целей” проблемы повышения надежности сложных систем авиационного оборудования и конечного звена в системе безопасности полетов – комплекса “экипаж – воздушное судно – среда”. Предложена структуризация показателей и параметров оценки эффективности функциональных комплексов воздушных судов. Использование разработанной структуры позволяет создать методологический базис для обеспечения эффективной реализации и управления процессами проектирования, производства, сертификации и эксплуатации указанных комплексов.

V.M. Vorobyev, V.P. Zakharchenko, B.N. Kazak, E.A. Kichigin

The system approach to a problem of increase of efficiency of onboard complexes avionics on life cycle

Methodological basis of the decision of tasks of increase of efficiency of onboard complexes of air courts is the system approach, which is submitted by multilevel hierarchical structure " of a tree of the purposes " problems " Increases of reliability of complicated systems of the air equipment and final link in system of safety of flights - complex " crew - air vessel - environment". In clause is offered structurization of parameters and parameters of an estimation of efficiency of functional complexes of air courts. Use of the developed structure allows to create methodological basis for maintenance of effective realization and management of processes of designing, manufacture, certification and operation of the specified complexes.