

УДК 629.735.083 (045)

**НОРМУВАННЯ Й ОЦІНКА ЕКСПЛУАТАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

*О. А. Тамаргазін*, д-р техн. наук; *І. І. Ліннік*, канд. техн. наук; *О. П. Ліннік*, канд. фіз.-мат. наук

Національний авіаційний університет

avia\_icao@mail.ru

*Розглянуто питання формування експлуатаційних та технічних характеристик сучасних літальних апаратів. Запропонований підхід може використовуватись для літальних апаратів різних класів та призначення, є комплексним й адаптованим до умов експлуатації конкретного типу літального апарата по етапах життєвого циклу і дає змогу зменшити строки формування ефективних експлуатаційно-технічних характеристик літальних апаратів на етапах освоєння їх експлуатації і їхньому коригуванню протягом усього терміну експлуатації типу літального апарата до списання.*

**Ключові слова:** літальний апарат, експлуатація, технічне обслуговування.

*Questions of formation operational and technical characteristics of modern flight vehicles are considered. The offered approach can be used for lethal vehicles of different classes and appointment. It is complex and adapted for operation conditions of particular type of the lethal vehicle on stages of life cycle and allows to reduce time of formation of effective operation-technical characteristics of lethal vehicles at development stages of their operation and their updating throughout all term of type operation of a flight vehicle before discarding.*

**Keyword:** aircraft, operation, maintenance.

**Постановка завдання**

Експлуатація літальних апаратів (ЛА) реалізується послідовною зміною станів льотної та технічної експлуатації ЛА по етапах життєвого циклу з початку експлуатації й до списання кожного екземпляра ЛА.

Льотна експлуатація ЛА включає використання ЛА за призначенням, тобто безпосередньо в польоті, що визначається льотно-технічними характеристиками (ЛТХ) ЛА, а саме: висота, швидкість і тривалість польоту, злітна й посадкова маса, маса комерційного навантаження та інші показники, що характеризують льотну якість ЛА.

Технічна експлуатація ЛА складається з транспортування, зберігання, технічного обслуговування й ремонту ЛА, які визначаються експлуатаційно-технічними характеристиками (ЕТХ) ЛА, що встановлюють здатність ЛА забезпечувати задані рівні надійності й готовності ЛА до ремонту в реальних умовах експлуатації з певними витратами праці, часу й засобів. ЕТХ ЛА звляють собою сукупність показників, таких як: надійність, експлуатаційна та ремонтна технологічність, інтенсивність льотної експлуатації, ре-

жими технічного обслуговування і ремонту (ТОіР) ЛА в цілому й інші показники, що характеризують технічні якості ЛА.

Льотні й експлуатаційно-технічні характеристики ЛА задаються для розроблення ЛА, обґрунтовуються на етапах проектування й виготовлення ЛА, підтверджуються при випробуваннях і реалізуються в експлуатації, тому формування ЛТХ та ЕТХ є основою для формування систем льотної та технічної експлуатації ЛА на всіх етапах його життєвого циклу від розробки й до списання.

Процедури завдання ЛТХ ЛА, їхнього забезпечення під час проектування й оцінювання при випробуваннях і в експлуатації досить відпрацьовані й регламентовані керівною, нормативною, методичною й експлуатаційною документацією як вітчизняної, так і закордонної розробки.

Задати й забезпечити ЕТХ ЛА значно складніше, тому що їхня фактична реалізація підтверджується тільки на етапах експлуатації ЛА в конкретних умовах виробничої діяльності експлуатанта. Слід зазначити, що донедавна ЕТХ ЛА розглядалися як побічний результат забезпечення льотних якостей ЛА й, як правило, при розробці ЛА не задавалися.

Витрати на технічну експлуатацію кожного екземпляра сучасних типів ЛА, включаючи доробки, виконання ТОіР і вартість запчастин й устаткування за весь строк експлуатації ЛА до списання в 2...3 рази перевищують його початкову вартість. Ефективність процесів технічної експлуатації, що виражається через ЕТХ ЛА, визначає її ефективність експлуатації в цілому як кожного екземпляра ЛА, так і всього парку даного типу ЛА. Тому теорія й практика формування ЕТХ ЛА в остаточному підсумку визначає ефективність експлуатації кожного екземпляра ЛА й типу ЛА в цілому.

Формування ЕТХ ЛА на етапах розробки типу ЛА виконується фірмами, які виготовляють ЛА, а на етапах експлуатації – експлуатантами, при цьому розходження в методологічній базі не дозволяє виконувати комплексне формування ЕТХ ЛА у взаємозв'язку технічних, інформаційних й організаційних складових процесу технічної експлуатації на всіх етапах життєвого циклу ЛА.

Відсутність методології комплексного й адаптивного до умов експлуатації ЛА формування ЕТХ ЛА по етапах життєвого циклу приводить до невиправданого збільшення строків формування ефективних ЕТХ ЛА на етапах освоєння експлуатації типу ЛА і їхньому коригуванню протягом усього терміну експлуатації типу ЛА до списання, при цьому внесення змін у конструкцію й експлуатаційну документацію екземплярів, що перебувають в експлуатації, ЛА з метою їхньої адаптації до реальних умов експлуатації й виробничої діяльності експлуатантів викликає більші організаційно-технічні утруднення й значні додаткові матеріальні витрати на забезпечення технічної експлуатації.

### Вирішення завдання

У процесі формування ефективних ЕТХ для різних типів ЛА й реалізації отриманих результатів у практиці їхньої технічної експлуатації визначається необхідність вирішення такого комплексу взаємозалежних завдань з:

- формування основних положень програми ТОіР типу ЛА;
- нормування й оцінювання ЕТХ ЛА на етапах його життєвого циклу;
- формування характеристик форм і видів ТОіР і режимів ТОіР ЛА залежно від умов експлуатації ЛА;
- вибору методів і схем інформаційного забезпечення процесів експлуатації ЛА як обмежень й умов функціонування системи технічної експлуатації (СТЕ) типу ЛА в цілому.

Нормування експлуатаційно-технічних характеристик (ЕТХ) є початковим етапом формування характеристик STE й проектування ЛА як

об'єкта ТЕ. Замовник ЛА задає такі вимоги до експлуатаційних якостей, які забезпечують ефективну технічну експлуатацію ЛА в очікуваних умовах експлуатації, а розроблювач реалізує такі конструктивні рішення при проектуванні, які забезпечують технічну досконалість ЛА й реалізацію нормативних вимог замовника. ЕТХ містять у собі показники експлуатаційної й ремонтної технологічності, надійності й контролепридатності ЛА в системі ТЕ відповідно до розглянутої класифікації цільових робіт ТОіР щодо груп і категорій елементів конструкції ЛА, його систем, комплектуючих й устаткування [1].

Сучасний ЛА — це комплекс складних багатофункціональних систем, кожна з яких налічує 50...100 типів виробів. Жорсткі обмеження на геометричну конфігурацію планера ЛА, а отже, і на умови розміщення в ньому систем, виробів й устаткування визначають обмеження на пристосованість різних виробів й устаткування до виконання цільових робіт ТОіР, які перешкоджають задоволенню потреби елементів типу *E* й *G* у цих роботах відповідно до видів та категорій елементів [3]. Треба враховувати, що пристосованість ЛА в цілому до технічної експлуатації реалізується в реальних умовах експлуатації, що характеризуються різноманіттям змінних факторів впливу на складові частини кожного конкретного екземпляра ЛА даного типу, що визначає додаткові вимоги до пристосованості цих виробів й устаткування до цільових робіт ТОіР у всіх очікуваних умовах експлуатації ЛА.

Розроблювач і виготовлювач ЛА забезпечують пристосованість його систем, виробів й устаткування для виконання на них усіх необхідних робіт ТОіР із встановленими режимами й в очікуваних умовах експлуатації відповідно до експлуатаційної документації. Однак експлуатанта цікавить кінцевий результат технічної експлуатації ЛА, що виражає характеристиками STE типу ЛА в цілому, а не пристосованістю окремих складових частин ЛА до виконання робіт ТОіР. Як показує практика, узагальнене нормування вимог з пристосованості окремих складових частин систем, комплектуючих й устаткування ЛА до цільових робіт ТОіР без обліку їхньої потреби в цих роботах й умов експлуатації ЛА й на цій основі нормування вимог на ЛА не визначають характеристики STE типу ЛА в цілому. Завдання забезпечення пристосованості ЛА до ефективної технічної експлуатації можуть бути вирішені нормуванням вимог з пристосованості ЛА в цілому до очікуваних умов експлуатації й наступним розподілом нормативів між системами, комплектуючими й устаткуванням ЛА відповідно до їх класифікації по видах і категоріях у послідовності етапів, що приводить з часом до:

– нормування ЕТХ для типу ЛА;  
 – розподілу нормативів ЕТХ для ЛА між системами, комплектуючими й устаткуванням ЛА;  
 – вибору елементів  $E$  і  $G$  систем і виробів для забезпечення заданих вимог до ЛА в цілому;

– оцінювання відповідності ЕТХ ЛА нормативним вимогам на етапах проектування, випробувань й експлуатації.

Таким чином, принципи нормування ЕТХ ЛА як вихідний етап формування характеристик СТЕ визначають методологію й зміст усіх наступних етапів зі створення ЛА як ефективного об'єкта технічної експлуатації.

Результати досліджень й аналіз вітчизняного й закордонного досвіду розробки, випробувань й експлуатації різних типів ЛА ГА показали, що ефективність технічної експлуатації ЛА в реальних умовах досить повно може характеризуватися такими комплексними показниками:

– питомою середньою сумарною трудомісткістю ТЕ —  $K_{ТТО}$  (люд.-г/год нальоту);

– питомою середньою сумарною трудомісткістю ремонту —  $K_{ТР}$  (люд.-г/год нальоту);

– середньою тривалістю транзитного ТЕ —  $t_T$  (хв);

– імовірністю відновлення справності в заданий час —  $P_B(t_{зад})$ ;

– питомою середньою вартістю матеріалів і запчастин —  $K_{с.м.з.}$  (дол. США/г нальоту).

Показники  $K_{ТТО}$  й  $K_{ТР}$  характеризують витрати праці при ТОіР на одиницю напрацювання ЛА,  $t_T$  — простой ЛА при плановому оперативному використанні за призначенням,  $P_B$  — характеризує регулярність польотів через показники надійності й технічної досконалості ЛА, які відбиває й показник  $K_{с.м.з.}$ .

У загальному випадку  $i$ -й комплексний показник ефективності  $\theta$  функціонал  $\theta$  вигляду [2]:

$$P_{iE} = P_{iEH} \theta \{ f_{ij}(\Delta x_j), \varphi_m(\Delta k_n) \}$$

де  $P_{iE}$ ,  $P_{iEH}$  — показники ефективності, реальні й нормативні відповідно;  $f_{ij}(\Delta x_j)$ ,  $j = \overline{1, k}$  —

функції впливу умов експлуатації;  $\varphi_m(\Delta k_n)$ ,

$n = \overline{1, l}$  — функції впливу категорії й виду елементів.

Завдання нормування зводиться до вибору  $P_{iEH}$ , функціонально пов'язаних з  $f_{ij}$  і  $\varphi_m$ , які забезпечують об'єктивну оцінку їхніх значень на всіх етапах розробки ЛА й формування програми ТОіР як основи системи технічної експлуатації ЛА.

У результаті виконаних досліджень показники ЕТХ ЛА —  $P_{iEH}$  нормовані щодо таких функцій:

– маси порожнього ЛА —  $f(m)$ , т;

– середнього напрацювання на несправність —  $f(T_C)$ , год;

– тривалості типового польоту —  $\varphi(\tau_{ПІ})$ , хв;

– середнього добового нальоту —  $\varphi(w_C)$ , год.

Усі інші види зв'язків є постійними обмеженнями на характеристики СТЕ, що вводять для даного типу ЛА й очікуваних умов його експлуатації.

Функція  $f(m)$  характеризує зв'язок значень показників ЕТХ із масою порожнього ЛА даного типу, що за сучасних методів проектування в цілому характеризує конструктивно-технічні особливості ЛА, його клас і відповідно частину характеристик технічної експлуатації, зумовлених класом ЛА.

Функція  $f(T_C)$  характеризує зв'язок значень показників ЕТХ із якістю проектування й виготовлення, що проявляється через показники безвідмовності ЛА, його виробів й устаткування в реальних умовах випробувань й експлуатації.

Функція  $\varphi(\tau_{ПІ})$  характеризує зв'язок величини простоїв ЛА на основній формі оперативного обслуговування при регулярній експлуатації із тривалістю польоту й, відповідно, з питомими обсягами робіт технологічного обслуговування й класом ЛА, а через технологічні процеси виконання цих робіт — з технічною досконалістю ЛА, що проявляється в пристосованості окремих виробів й устаткування ЛА до даних видів робіт в обраних умовах експлуатації й організації виконання оперативного технічного обслуговування.

Функція  $\varphi(w_C)$  зв'язує обсяги робіт технологічного обслуговування через питому частоту виконання ТЕ на початку й наприкінці льотного дня із прийнятою структурою оперативних форм ТЕ й тривалістю оперативного циклу, які, у свою чергу, характеризують досконалість експлуатаційної документації, реалізована через прийняті методологічні принципи формування регламенту ТЕ на основі обліку конструктивних особливостей ЛА, умов його експлуатації, організації процесів ТЕ, і застосовуваних методів експлуатації виробів і засобів їхнього обслуговування.

Нормування комплексних показників ЕТХ ЛА щодо зазначених функцій зв'язку, включаючи вибір виду функцій, виконано на основі обробки статистичних даних про процеси технічної експлуатації вітчизняних і закордонних типів ЛА з урахуванням існуючих тенденцій розвитку конструкцій і методів експлуатації ЛА цивільної авіації із застосуванням відомих методів статистичного оцінювання й прогнозування параметрів [4].

Нормативні значення показника  $K_{ТТО}$  визначені з урахуванням застосування прогресивних методів експлуатації виробів ЛА в цілому, але без обліку трудовитрат на пошук й усунення відмов і

несправностей ЛА й подані залежністю:

$$K_{\text{ТТО}} \leq \frac{1,35}{\tau_{\text{ТП}}} \sqrt[3]{m_{\text{пор}}} + \left( 0,301 + \frac{3,8}{7W_C} \right) \sqrt{m_{\text{пор}}}$$

де  $\tau_{\text{ТП}}$  — тривалість типового польоту, г;  $m_{\text{пор}}$  — маса порожнього ЛА, т.

Нормативні значення показника  $K_{\text{ТР}}$  визначаються з урахуванням застосування прогресивних стратегій ремонту виробів ЛА в цілому й подані залежністю

$$K_{\text{ТР}} \leq 0,3 \sqrt{m_{\text{пор}}}$$

При зазначених вище умовах значення  $K_{\text{ТР}}$  повністю визначаються масою порожнього ЛА, а всі інші фактори в системі ТОіР є однаковими для всіх ЛА парку на кожному етапі відпрацювання ресурсу (терміну служби) до списання.

Поділ загальної питомої середньої трудомісткості ТОіР на  $K_{\text{ТТО}}$  і  $K_{\text{ТР}}$  відбиває сформовану структуру організації виконання ремонту як самостійного виду відновлення ЛА. Якщо ремонт організаційно не виділяється, то загальна питома трудомісткість ТОіР може бути визначена з виразу

$$K_{\text{ТТО}} \leq \frac{1,35}{\tau_{\text{ТП}}} \sqrt[3]{m_{\text{пор}}} + \left( 0,6 + \frac{3,8}{7W_C} \right) \sqrt{m_{\text{пор}}}$$

Нормативні значення  $t$  нормуються щодо тривалості типового польоту:

$$\text{а) } t_T = \begin{cases} 0,25; & \tau_{\text{ТП}} \leq 1; \\ 0,25 + \frac{1}{6}(\tau_{\text{ТП}} - 1); & 1 \leq \tau_{\text{ТП}} \leq 4; \\ 0,75; & \tau_{\text{ТП}} \geq 4; \end{cases}$$

$$\text{б) } t_T = \begin{cases} 0,5; & \tau_{\text{ТП}} \leq 1; \\ 0,5 + \frac{1}{6}(\tau_{\text{ТП}} - 1); & 1 \leq \tau_{\text{ТП}} \leq 4; \\ 1,0; & \tau_{\text{ТП}} \geq 4. \end{cases}$$

Варіант а) — для ближніх і середніх магістральних ЛА; б) — для далеких магістральних ЛА.

Такий поділ зумовлений тим, що склад робіт технологічного обслуговування, виконуваних при транзитному ТО, є мінімально необхідним для будь-якого типу ЛА, а обсяги цих робіт визначаються класом ЛА через компоненти системи ТЕ. Значення  $t_T$  задані за умов виконання тільки планових робіт попереджувального ТО за чинним регламентом ТЕ даного типу ЛА й технологічним графіком підготовки одиночного ЛА із застосуванням засобів ТЕ, передбачених для транзитного аеропорту.

Безвідмовність виробів й устаткування, віражена через  $T_C$  для ЛА в цілому, визначає частоту появи несправностей за одиницю наробітку

ЛА й, відповідно, кількість несправностей, що накопичилися за типовий політ і необхідно усунути при транзитному ТО (роботи несправностей, що не входять у перелік MMEL, MEL), а тривалість транзитного ТО визначає тривалість їхнього усунення за прийнятою умовою, що тривалість усунення різних видів відмов і несправностей відповідає логарифмічно-нормальному закону розподілу випадкових величин.

За статистичними даними трудовитрати на пошук й усунення несправностей, у процесі експлуатації становлять 30...40 % від заданого нормативу  $K_{\text{ТР}}$ .

Показник  $P_{\text{ад}}(t)$  є ключовим у плані забезпечення експлуатаційної надійності ЛА за конструктивно-виробничими факторами, тому що ставить альтернативу вибору категорій елементів, використовуваних у конструкції, системах й устаткуванні ЛА, включаючи структурні схеми розміщення елементів у системах.

Застосування в конструкції й системах елементів категорій  $E_1$  й  $E_2$ , що мають підвищену надійність, збільшує значення  $T_C$ , що, у свою чергу, підвищує значення  $P_b(t_{\text{ад}})$  і забезпечує виконання нормативних вимог до регулярності при більш низьких показниках контролепридатності й ремонтпридатності. Застосування елементів категорій  $E_3$  й  $E_4$  потребує більш високої пристосованості конструкції до відновлення, щоб в умовах більш частого проведення робіт з усунення несправностей забезпечити виконання вимог до регулярності за рахунок скорочення тривалості робіт з пошуку й усунення несправностей.

Такий же результат може бути досягнутий резервуванням елементів систем, що дозволяє розширити перелік MMEL/MEL і перенести роботи з відновлення справності ЛА із транзитного ТО на інші форми з більшим резервом фонду часу.

Під час проектування нового типу ЛА в ТЗ на його створення задаються очікувані умови експлуатації й відповідні їм нормативні значення ЕТХ.

Розроблювач ЛА має право використати будь-які конструктивно-технологічні принципи при проектуванні елементів систем й устаткування за умов виконання заданих вимог ЕТХ для ЛА в цілому. Прийняту ідеологію забезпечення ЕТХ розроблювач ЛА доводить до розроблювачів окремих комплектуючих у вигляді ТТ на ці вироби, включаючи вибір категорій елементів.

На етапах розробки, виробувань й експлуатації ЛА періодично оцінюються фактичні значення показників ЕТХ і визначаються нормативні їхні значення, що відповідають реальним умовам.

Виконання обмежень

$$K_{\text{ТТО(фак)}} \leq K_{\text{ТТО}}; t_{\text{Т(фак)}} \leq t_{\text{Т}}; P_{\text{в(фак)}} \leq P_{\text{в}},$$

де індекс «фак» відповідає фактичним значенням показників на даному етапі оцінювання ЛА, є критерієм виконання нормативних вимог по ЕТХ ЛА в цілому в реальних умовах.

Оскільки значення показника  $K_{\text{ТР}}$  може бути прийнято не раніше проведення ремонту, на попередніх етапах життєвого циклу ЛА очікуване значення показника  $K_{\text{ТР(оч)}}$  визначається як:

$$K_{\text{ТР(оч)}} = \frac{K_{\text{ТТО(фак)}}}{K_{\text{ТТО}}} K_{\text{ТР}}.$$

При формуванні номенклатури показників ЕТХ й їхніх нормативних значень, поділ робіт на планові та непланові не виконується, тому що це лише характеристики комплектуючих виробів, а не ЛА в цілому. Всі показники в їхньому взаємозв'язку характеризують експлуатаційні якості ЛА по кінцевих характеристиках СТЕ ЛА, а значення нормативних показників ЕТХ у комплексі встановлюють адаптивне співвідношення видів робіт ТОiP і принципів їхнього виконання. Так, великий відносний обсяг непланових робіт при загальному виконанні нормативу по  $K_{\text{ТТО}}$  приводить до невиконання нормативу по  $P_{\text{в}(t_{\text{зад}})}$ , а великий обсяг робіт технологічного обслуговування за тих самих умов приводить до невиконання нормативу по  $t_{\text{Т}}$  тощо.

Розроблені нормативні показники ЕТХ перелічених типів ЛА визначені при розрахунковому призначеному ресурсі  $T_{\text{н}}$  ЛА в 30 тис. л. год. При збільшенні  $T_{\text{н}}$  очевидно буде зростати частка елементів конструкції категорій  $E_2 - E_4$  підтримки й відновлення технічного стану яких буде приводити до збільшення частки робіт з підтримки й відновлення надійності ( $V_{\text{н}}$ ) і відповідному збільшенню витрат на ТОiP ЛА в цілому. Статистичні результати обробки оперативних ЕТХ вітчизняних і закордонних типів ЛА показують, що відповідні нормативні показники  $K_{\text{ТТО}}$  й  $K_{\text{ТР}}$  при збільшенні  $T_{\text{н}} > 30$  тис. л. год, повинні збільшуватися на 2...3 % на кожні 1000 л. г експлуатації ЛА.

Наприклад, якщо для ЛА заданий  $T_{\text{н}} = 45$  тис. л. год, тоді відповідний показник  $K_{\text{ТТО}}$  повинен бути помножений на коефіцієнт 1,45 при експлуатації літака в інтервалі (30...45 тис. л. год).

З іншого боку, збільшення ресурсу  $T_{\text{н}}$  для ЛА в цілому може бути досягнуто за рахунок збільшення числа агрегатів з обмеженим ресурсом і відповідним збільшенням заміни цих агрегатів, що приводить до збільшення витрат на запчастини

для забезпечення відпрацьовування збільшеного ресурсу  $T_{\text{н}}$ . Аналогічно зростають витрати на запчастини при експлуатації ЛА понад розрахункові призначені ресурси.

Норми питомої вартості (на 1 годину нальоту) матеріалів і запчастин на забезпечення технічної експлуатації ЛА можуть бути отримані зі співвідношення

$$C = K_{\text{N}} K_{\text{с.з.м}} 30000,$$

де  $C$  — початкова вартість базової моделі ЛА, розрахованої під ресурс  $T_{\text{н}} = 30$  тис. л. год (дол. США);  $K_{\text{N}}$  — коригувальний коефіцієнт витрати запчастин і матеріалів, що залежить від інтервалу наробітку ЛА:  $K_{\text{N}} = 2$  — в інтервалі (0...15 тис. л. год);  $K_{\text{N}} = 1$  — в інтервалі (15...30 тис. л. год);  $K_{\text{N}} = 0,5$  — при наробітку ЛА понад 30 тис. л. год;  $K_{\text{с.з.м}}$  — вартість запчастин і матеріалів на ТО ЛА, (дол. США) год нальоту.

Показник  $K_{\text{с.з.м}}$  є регулюючим, а не нормативним, тому що вартість запчастин і матеріалів на ТЕ ЛА в тій або іншій формі може бути включена в ціну ЛА відповідно до умов контракту поставки.

#### Висновки

Слід зазначити, що показники ЕТХ  $t_{\text{Т}}$  й  $P_{\text{в}(t_{\text{зад}})}$  не змінюються при збільшенні  $T_{\text{н}}$ , тому що  $t_{\text{Т}}$  визначається рівнем експлуатаційної технологічності ЛА, а  $P_{\text{в}(t_{\text{зад}})}$  — надійністю комплектуючих й устаткування ЛА, регламентованої нормами льотної придатності, незалежно від величин  $t_{\text{Т}}$ , і умовами застосування переліків MMEL/MEL.

Для практичного застосування зазначених принципів нормування експлуатаційно-технічних характеристик ЛА необхідно розробити спеціальне методичне забезпечення з проектування систем технічної експлуатації сучасних ЛА різних типів і класів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен : пер. с нем. — М. : Радио и связь, 1988. — 392 с.
2. Смирнов Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н. Н. Смирнов, А. А. Ицкович. — 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Транспорт, 1987. — 272 с.
3. Тамаргазин О. А. Системы технического обслуживания пассажирских лайнеров / О. А. Тамаргазин. — К. : КМУЦА, 2000. — 268 с.
4. Тамаргазин А. А. Формирование программ технического обслуживания авиационной техники / А. А. Тамаргазин. — К. : НАУ, 2007. — 160 с.