The Central Research institute
of the Armed Forces of Ukraine
Military Science. Vol. 2 No. 1 (2024)

DOI: 10.62524/msj.2024.2.1.17

Вирішення задачі забезпечення справності парку авіаційної техніки Збройних Сил України в умовах особливого періоду

Михайло Сушак
кандидат технічних наук, старший науковий співробітник,
начальник науково-дослідного відділу
Державний науково-дослідний інститут авіації
01135, вулиця Григорія Андрющенка, 6в, Київ , Україна
e-mail: sushak_m@ukr.net
ORCID:0000-0001-7747-2303

Юрій Братусь
кандидат технічних наук
заступник начальника науково-дослідного відділу
Державний науково-дослідний інститут авіації
01135, вулиця Григорія Андрющенка, 6в, Київ , Україна
e-mail: 0673678791@ukr.net
ORCID:0009-0003-4947-9083

Микола Васянович
кандидат військових наук, старший дослідник
начальник центру
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України
03049, 28Б, просп. Повітрофлотський, Київ, Україна
e-mail: m.o.vasianovych@post.mil.gov.ua
ORCID: 0000-0002-8409-4774

Анотація. Технічний стан всього парку авіації Повітряних Сил Збройних Сил України характеризується вичерпанням установленого ресурсу (строку служби). Особливе значення для прогнозованого планування заходів інженерно-авіаційного забезпечення є аналіз післяремонтної надійності авіаційної техніки при виконанні заходів заводського ремонту. Аналіз діяльності авіа ремонтних підприємств України свідчить про існування низки проблемних питань, які негативно впливають на поточний стан авіаремонтної бази та перспективи розвитку. Характерні особливості існуючого стану більшості авіа ремонтних підприємств визначають доцільність формування управлінських рішень щодо заводського ремонту та технічної експлуатації авіаційної техніки державної авіації з позицій мінімізації потенційних ризиків. Програма технічного обслуговування та ремонту всіх типів літальних апаратів Повітряних Сил Збройних Сил України може розглядатись як сукупність програм більш низького рівня. Система забезпечення справності авіаційної техніки державної авіації є складною багатофакторною істотно нелінійною та нестаціонарною системою, тому одним із доцільних підходів щодо оцінки впливу ризикоутворювальних чинників на забезпечення заданого рівня справності парку авіаційної техніки є розгляд аналогій для системи адекватної складності. В якості такої системи можливо розглядати систему авіа ремонтних підприємств при виконанні заходів імпортозаміщення з відповідними ризиками. Авторами запропоновано алгоритм формування плану ремонту авіаційної техніки шляхом ітераційного процесу, при якому досягається мінімальний ризик забезпечення заданого рівня справності парку авіаційної

техніки державної авіації. Для кожного зі сценаріїв особливого періоду розглядається окремий варіант плану ремонту авіаційної техніки. Для зменшення ризику критичної залежності від одного приватного виробника необхідних для ремонту та експлуатації авіаційної техніки комплектувальних виробів, аналогічних штатним, доцільнім є розвиток державної системи економічного стимулювання (надання преференцій, державної підтримки) вітчизняних підприємств, що задіяні в процесі імпортозаміщення. Для цього, доцільним є ініціювання питання практичної реалізації державної підтримки вітчизняних підприємств, які задіяні в процесі імпортозаміщення в галузі державної авіації з виділенням на це відповідного фінансового ресурсу з Державного бюджету України. Таким чином, задача забезпечення справності парку авіаційної техніки Збройних Силах України в умовах особливого періоду з урахуванням реальних виробничих можливостей авіаремонтної галузі має вирішуватися шляхом мінімізації ризиків імпортозаміщення процесів заводського ремонту. Для теоретичного моделювання розподілу випадкових величин, які характеризують надійність, найбільш прийнятними є біноміальний та Пуассона – для дискретних величин; експоненціальний, Вейбулла та нормальний – для неперервних величин.

Ключові слова: інженерно-технічне забезпечення авіаційної техніки, забезпечення заданого рівня справності авіаційної техніки, мінімізація ризиків, забезпечення достатнього рівня надійності авіаційної техніки.

Вступ (Introduction)

Аналіз питання щодо забезпечення заданого рівня справності парку авіаційної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України (далі – ПС ЗС України) в особливий період показує, що на озброєнні ПС ЗС України перебуває військова авіаційна техніка (далі – АТ) іноземної розробки та виробництва (окрім літаків розробником яких є державне підприємство “Антонов” та вертольотів Мі-8МСБВ, Мі-2МСБВ розробником яких є акціонерне товариство “Мотор Січ”), яка позбавлена авторського нагляду в процесі експлуатації.

Технічний стан всього парку авіації ПС ЗС України характеризується вичерпанням установленого ресурсу (строку служби). Відновлення справного стану АТ згідно з діючим методом експлуатації “за ресурсом” та експлуатації за технічним станом шляхом виконання контрольно-відновних робіт після багатоетапного продовження призначених ресурсних показників (кожен етап – на 3 місяці або на 50 годин) можливо виключно шляхом виконання капітально-відновлювальних ремонтів в умовах авіаремонтних підприємств (далі – АРП) із встановленням міжремонтних показників з відповідним продовженням призначеного строку служби. Тому особливе значення для прогнозованого планування заходів інженерно-авіаційного забезпечення є аналіз післяремонтної надійності АТ при виконанні заходів заводського ремонту, де мають бути досліджені та відповідно оцінені ризики реалізації цих заходів.

Аналіз діяльності АРП України свідчить про існування низки проблемних питань, які негативно впливають на поточний стан авіаремонтної бази та перспективи розвитку, що потребує невідкладного вжиття відповідних заходів. При цьому, характерними особливостями існуючого стану більшості АРП є:

фактичне вичерпання попередніх напрацювань, технологічних можливостей і виробничого потенціалу більшості підприємств для налагодження виготовлення запасних частин, комплектувальних виробів;

потреба в значних капіталовкладеннях для реалізації імпортозаміщення процесів заводського ремонту зразків військової АТ;

великі часові терміни освоєння нових виробництв та ремонтних робіт;

практична відсутність у підприємств досвіду, необхідного обладнання, підготовленого персоналу, конструкторської (технологічної) документації для виготовлення нової номенклатури запасних частин до АТ;

дрібносерійне й тому нерентабельне виробництво;

відсутність конкуренції, об'єктивне звуження кола підприємств, що мають необхідні ресурси для освоєння нових виробництв (ремонтних робіт) та підтримання їх на належному рівні якості (Сушак, Борохвостов, Рябець, 2019), (Reliability Engineering and Risk Analysis, 2016), (Міщенко, Сушак, Василенко, 2020), (Сушак, Грицюк, 2022).

Зазначені особливості визначають доцільність формування управлінських рішень щодо заводського ремонту та технічної експлуатації авіаційної техніки державної авіації з позицій мінімізації потенційних ризиків. При цьому необхідно враховувати наступні умови:

нагальна потреба у відновленні та створенні перспективних виробничих потужностей для забезпечення заданого рівня справності парку АТ з урахуванням розвитку можливих сценаріїв особливого періоду;

невідкладність створення нових кооперацийних зв'язків і каналів постачання матеріалів, вузлів і комплектуючих як всередині країни, так і ззовні (диверсифікація), для забезпечення ремонту та відновлення АТ, яка перебуває на озброєнні ЗС України, вирішення проблеми імпортозаміщення;

необхідність організації раніше нетрадиційного для України виду військово-технічного співробітництва з іноземними державами – імпорту вузлів і комплектуючих (запасних частин) в умовах відсутності сталих каналів постачання та політичних обмежень з боку низки країн Європейського Союзу та інших країн щодо продажу (надання матеріально-технічної допомоги) Україні необхідних товарів;

невідповідність нормативно-правової бази, що врегульовує порядок ввезення, легалізації вузлів і комплектуючих (запасних частин), отриманих за імпортом та створеного в умовах особливого періоду, невідкладним потребам оборони держави, що потребує внесення відповідних змін до законодавства в частині спрощення процедур закупівлі (постачання).

Методологічна основа (Methodological Framework)

Вирішення проблеми забезпечення справності парку АТ ЗС України в умовах особливого періоду з урахуванням реальних виробничих можливостей авіаремонтної галузі. Розробка та обґрунтування рекомендацій щодо мінімізації ризиків імпортозаміщення процесів заводського ремонту військової АТ.

В умовах сьогодення прийняття рішення з питань збільшення ресурсу, продовження строку служби авіаційної техніки державної авіації, за якою не здійснюється авторський нагляд, та яку в особливий період дозволено експлуатувати без сертифікатів льотної придатності, здійснюється командувачами видів Збройних Сил України, керівниками авіації інших центральних органів виконавчої влади за її належністю.

Пунктом 2 статті 7 Повітряного кодексу України встановлено, якщо розробник, виробник не виконує своїх обов'язків із супроводження експлуатації виробів АТ, компонентів та обладнання, підтримання їх льотної придатності, Міністерство оборони України вживає необхідних заходів для забезпечення безпеки польотів та підтримання льотної придатності державних повітряних суден згідно вимог нормативних документів, які регламентують порядок підтримання льотної придатності АТ державної авіації за якою не здійснюється авторський нагляд.

Програма технічного обслуговування та ремонту всіх типів ЛА ПС ЗС України може розглядатись як сукупність програм більш низького рівня. В залежності від методів технічного обслуговування та ремонту, що використовуються, розрізняються наступні програми

технічного обслуговування та ремонту: за наробітком, за технічним станом із контролем параметрів (з контролем рівня надійності).

За ознаками режимів технічного обслуговування та ремонту (об'єм та періодичність виконаних робіт), які використовуються, програми технічного обслуговування та ремонту розрізняються за оперативною, періодичною та ремонтною формами. З урахуванням конструктивних особливостей складових частин ЛА слід розрізняти програми технічного обслуговування та ремонту: планеру, авіадвигунів, функціональних систем (гідравлічна, паливна, керування та інші). Програма технічного обслуговування та ремонтна документація на кожний тип АТ були сформовані розробниками/виробниками ще на етапі проектуванні ЛА у відповідності з технічними вимогами (Risk Theory, 2022).

На практиці забезпечення справності парку авіаційної техніки ПС ЗС України з урахуванням об'єктивних можливостей авіаційно-ремонтних підприємств щодо гарантійного обслуговування зразків АТ, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників невід'ємно залежить від фінансового ресурсу, який фактично виділяється на це.

Проблемним питанням діяльності підприємств вітчизняної авіаремонтної галузі, яке не дозволило на сьогодні забезпечити існуючі потреби ЗС України у справних зразках АТ є те, що окремі договори (контракти) про надання послуг з ремонту зразків АТ укладаються з приватними підприємствами, які мають недостатні виробничі спроможності. Так, до виконання оборонних замовлень все частіше залучаються невеликі приватні компанії, які не завжди здатні забезпечити в короткі терміни належну якість робіт і подальше гарантоване технічне супроводження відремонтованої АТ у міжремонтний період.

Система забезпечення справності АТ державної авіації є складною багатофакторною істотно нелінійною та нестаціонарною системою, тому одним із доцільних підходів щодо оцінки впливу ризикоутворювальних чинників на забезпечення заданого рівня справності парку АТ є розгляд аналогій для системи адекватної складності (Aircraft Reliability and Reliability Centred Maintenance, 2021), (Risk Theory, 2017), (Barlov, Hunter, 1960).

В якості такої системи можливо розглядати систему АРП при виконанні заходів імпортозаміщення з відповідними ризиками. На теперішній час, найбільш вагомими перепонами з реалізації заходів імпортозаміщення процесів заводського ремонту АТ державної авіації, за якою не здійснюється авторський нагляд, є ризики:

неосвоєння в рамках імпортозаміщення нових (зазвичай високотехнологічних) виробництв та ремонтних робіт (наприклад виробництво (ремонт) лопатей несучого та рульового гвинта до військових вертольотів), комплектуючих деталей основних стійок шасі літаків типу Су-27, козирка кабіни льотчика літака типу МиГ-29 інше;

незабезпечення необхідної якості виготовлення директивних запасних частин й комплектувальних виробів (ремонту) (наприклад виготовлення підшипників до авіаційних двигунів, редукторів, робочих лопаток, дисків турбін, плунжерних пар паливних насосів до авіаційних двигунів, силових елементів основних стійок шасі інше);

критичної залежності від одного виробника (часто приватного) (постачання гальмівних дисків коліс, трубопроводів, шлангів високого тиску, клеїв, герметиків, гумових сумішей інше);

неефективного використання державних коштів на реалізацію заходів імпортозаміщення.

Зазначені ризики є прямими аналогами ризиків забезпечення справності АТ при капітально-відновлювальному ремонті, тому, масштаб та наслідки їх впливу розглядається як "орієнтир" для оцінки можливого масштабу впливу та наслідків щодо системи заводського ремонту АТ в цілому.

Ризик зриву освоєння в рамках імпортозаміщення нових виробництв та ремонтних робіт ґрунтується на існуванні високого рівня ймовірності недосягнення встановлених цілей запланованих заходів імпортозаміщення. Джерелом виникнення даного ризику є невідповідність інтересів замовника освоєння та підприємства-виконавця і обмежена можливість економічного стимулювання виконавця з боку замовника, яка обмежена виключно умовами укладеного договору (контракту) (Сушак, Борохвостов, Рябець, 2019), (Reliability Engineering and Risk Analysis, 2016).

Для кількісного оцінювання ризику існують різні методи, серед яких найпоширенішими є: статистичний (у тому числі, метод статистичних випробувань і метод Монте-Карло); аналітичний; поєднання дерева рішень та імовірнісного підходу; оцінювання фінансової стійкості або оцінювання доцільності витрат; експертних оцінок; нормативний; аналізу чутливості; використання аналогів тощо. Кожний з цих методів має переваги та недоліки і використовується у конкретних ситуаціях, а універсального методу, прийнятного для всіх випадків, в тому числі, і при оцінці ризиків реалізації заходів планування процесів заводського ремонту та технічної експлуатації АТ, не існує (Asif Mostafa, 2020), (Safety and Risk Assessment of Civil Aircraft during Operation, 2020).

Результати і обговорення (Results and Discussions)

Алгоритм формування плану ремонту АТ шляхом ітераційного процесу, при якому досягається мінімальний ризик забезпечення заданого рівня справності парку АТ державної авіації наведено на рисунку нижче. Для кожного зі сценаріїв особливого періоду розглядається окремий варіант плану ремонту АТ.

Закони розподілу відмов є випадковими величинами, та мають велике значення для теорії і практики робіт щодо забезпечення надійності виробів АТ. Знання цих законів дозволяє розраховувати та прогнозувати надійність виробів, особливо велике значення ці закони мають при оцінці правильності встановлення та продовження ресурсу зразків АТ (Іленко, Сушак, Стешенко, 2018), (Смирнов, Ицкович, Загребельный, 1972), (Масягін, Сушак, Бездєльний, 2021), (Смирнов, Ицкович, Чинючин, 1978), (Сушак, Грень, Клобукова, Чернозубкін, 2021), (Митчелл, 2002), (Rausand, Хойланд, 2004), (Modarres, Каминский, Кривцов, 2010).

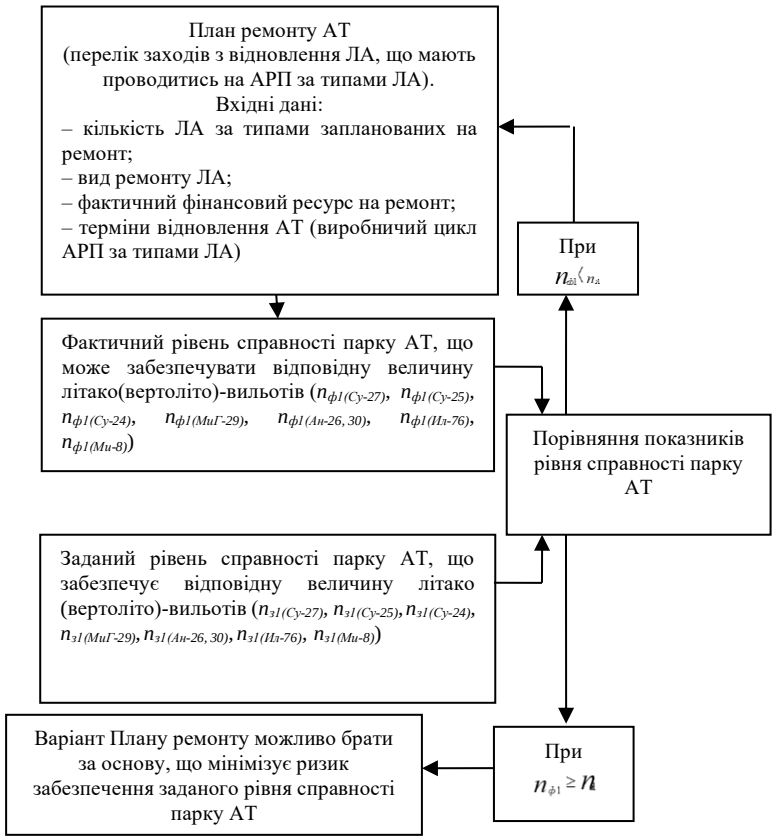
При використанні методу технічного обслуговування та ремонту за ресурсом задача забезпечення безпеки польотів (заданого рівня справності АТ) вирішується призначенням “безпечного” ресурсу виробу. При використанні метода технічного обслуговування та ремонту з контролем параметрів, задача забезпечення безпеки польотів вирішується шляхом визначення випереджувальних допусків та періодичності контролю технічного стану виробу, що забезпечує з заданою ймовірністю виявлення його передвідмовного стану. Метод технічного обслуговування та ремонту з контролем рівня надійності передбачає “безпечну” відмову виробу АТ. За характером прояву відмови елементів функціональної системи ЛА розподіляються на поступові та раптові. З великої кількості різноманіття законів розподілу випадкових величин, розроблених в теорії ймовірностей, найбільше значення для надійності мають біноміальний та Пуассона – для дискретних величин; експоненціальний, Вейбулла та нормальний – для неперервних величин (Risk Theory, 2022), (Aircraft Reliability and Reliability Centred Maintenance, 2021).

Для розрахунку експоненційного розподілу використовуються наступні формули:

$$f_i(t) = \frac{1}{T} e^{\frac{-t_{i+1}}{T}}; \quad (1)$$

$$\lambda_i(t) = \frac{1}{T}; \quad (2)$$

$$q_i(t) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{1}{T} e^{\frac{-t_{i+1}}{T}}. \quad (3)$$



де $n_{ф1}$ – фактична кількість справних ЛА за типами;
$n_{ф1}$ – задана кількість справних ЛА за типами.

Рисунок 1. Алгоритм формування плану ремонту АТ, за якого досягається мінімальний ризик забезпечення заданого рівня справності парку державної авіації для кожного з можливих сценаріїв особливого періоду

Для розподілу Вейбулла:

$$f_i(t) = \frac{m}{t_0} t_i^{m+1} e^{\frac{-t^m}{t}}; \quad (4)$$

$$\lambda_i(t) = \frac{m}{t_0} t_i^{m-1}; \quad (5)$$

$$q_i(t) = \int_{t_i}^{t_{i+1}} \frac{m}{t_0} t_i^{m-1} e^{\frac{-t^m}{t}}. \quad (6)$$

Визначаючись із математичною моделлю визначення ймовірнісних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків АТ, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників, слід мати на увазі, що експоненційний закон доцільно використовувати тільки стосовно виробів АТ, які не підлягають старінню або зношенню під час роботи, або у яких цей процес проходить дуже повільно. Цей закон, в основному, використовується для розподілу раптових відмов, які випадковим чином виникають при експлуатації АТ в міжремонтний період. Він розповсюджується тільки на позитивні безперервні випадкові величини.

Слід також враховувати, що експоненційний розподіл – це єдиний розподіл випадкових величин, де використовується припущення, що, якщо пристрій має експоненційний розподіл

часу до відмови, то попереднє використання пристрою ніяким чином не впливає на послідуючий час його роботи. Тобто, якщо пристрій ще не відмовив до моменту часу *t*, то розподіл його часу безвідмовної роботи буде таким же, нібито в цей момент часу почав використовуватись абсолютно новий пристрій. Це, безумовно, протирічить багатьом природнім уявленням. Експоненційний розподіл є єдиним розподілом, який має подібну властивість (Барлоу, Прошан, 1969), (Feller, 1957). Для прикладу використання експоненційного розподілу уявимо, що процес, який досліджується має пікові викиди, та що саме ці пікові зміни зовнішніх умов можуть впливати на пристрій, що розглядається, тобто пристрій може відмовити лише в момент указаного пікового викиду. Якщо потік викидів є пуассонівським, то розподіл відмов даного пристрою є експоненційним, і в цих умовах дійсно попереднє використання пристрою не відобразиться на подальшій тривалості безвідмовної роботи.

Однак зрозуміло, що зазначена властивість експоненційного розподілу не дозволяє використовувати цей розподіл для описання пристроїв, які в процесі нормальної експлуатації знаходяться під впливом факторів, які негативним чином відображаються на тривалості їх безвідмовної роботи.

Виключенням з цього правила є складні системи, елементи яких відновлюються в процесі функціонування. Для таких систем розподіл часу між відмовами може бути прийнято наближено експоненційним. У (Dais, 1952) розподіл Вейбулла (Weibull, 1939) характеризує зростаюча інтенсивність відмов при $m>1$, де m – змінний параметр, що має різні значення для окремих типів виробів (підбирається за результатом обробки експериментальних даних). Цей розподіл названо асиметричним розподілом третього типу для екстремальних значень (14). Розподіл Вейбулла (Weibull, 1939) доцільно використовувати для описання втомлювальних відмов, відмов вакуумних приладів (сильфонних вузлів агрегатів систем літаків, чутливих елементів агрегатів паливної автоматики авіаційних двигунів) та підшипників (Сушак, Грень, Клобукова, Чернозубкін, 2021), (Митчелл, 2002), (Rausand, Хойланд, 2004).

Для безперервної випадкової величини (час напрацювання) t щільність розподілу за Вейбуллом виражається формулою

$$f(t) = \frac{m}{t_0} t^{m-1} e^{-\frac{t_m}{t_0}}, \quad (7)$$

де m – змінній параметр, який має різні значення для окремих типів виробів (підбирається в результаті обробки експериментальних даних). Принаймні, якщо $m=1$, маємо експоненційний розподіл: при $m<1$ зі зростанням t величина $\lambda(t)$ зменшується; при $m>1$ зі зростанням t величина $\lambda(t)$ збільшується; t_0 – параметр, що зв'язаний з середнім напрацюванням до відмови рівнянням:

$$t_{\text{ср}} = b_m t_0^{\frac{1}{m}} \text{ або } t_0 = \left(\frac{t_{\text{ср}}}{b_m}\right)^m, \quad (8)$$

де b_m=Г(1+$\frac{1}{m}$) – гамма-функція.

Гамма–функція від аргументу m є функція:

$$\Gamma(m) = \int_0^\infty x^{m-1} e^{-x} dx \quad (9)$$

Основною особливістю нормального розподілу (нормальний закон розподілу Гаусса) є те, що він є граничним розподілом, до якого наближаються інші закони розподілу (Gumbel, 1958).

Сума достатньо великого числа незалежних випадкових величин, що характеризуються різними законами розподілу, наближено підпорядковуються нормальному закону розподілу, причому тим точніше, чим більша кількість випадкових величин підсумовується.

Основне обмеження, що накладається на підсумовування випадкових величин, полягає в тому, щоб всі величини в загальній сумі мали відносно мале значення (до таких випадкових величин відносяться, наприклад, похибки вимірювань, помилки методичного порядку тощо). Якщо ця умова не виконується, та одне з випадкових значень різко перевищує в сумі від всіх інших, то це впливає на суму та визначає, в основному, її закон розподілу.

На відміну від експоненційного розподілу та розподілу Вейбулла, що використовуються тільки для позитивних безперервних випадкових величин, нормальний розподіл може використовуватись для безперервних випадкових величин, які можуть приймати як позитивні, так і негативні значення від $-\infty$ до $+\infty$.

Щільність нормального розподілу визначається формулою:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} \quad (10)$$

Враховуючи те, що зразки авіаційної техніки є складними виробами (агрегатами), що включають в себе різноманітні складові елементи, методичною основою визначення імовірнісних властивостей процесу їх гарантійного обслуговування є поєднання (композиція) різних розподілів, які притаманні окремим елементам цих зразків авіаційної техніки (Weibull, 1939), (Kao, 1958), (Leiblein, Zelen, 1956).

Моделювання процесу визначення імовірнісних властивостей гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки державної авіації України, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників дозволяє теоретично визначити основні кількісні показники надійності цих зразків після їх ремонту.

Використання запропонованих математичних моделей та методики визначення імовірнісних властивостей процесу гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки державної авіації України, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників, дають можливість в певній мірі уникнути відмов, які не пов’язані з проведенням ремонту на авіаційно-ремонтному підприємстві, а є наслідком конструктивних недоліків, та/або тривалого терміну експлуатації.

Для практичної реалізації заходів щодо забезпечення справності парку авіаційної техніки Повітряних Сил Збройних Сил України, згідно з розробленим в роботі алгоритмом процесу гарантійного обслуговування відремонтованих зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників, мають здійснюватися наступні заходи:

усунення недоліків, виявлених під час гарантійного обслуговування авіаційно-ремонтним підприємством відповідно до умов договору (контракту) на ремонт;

внесення змін та доповнень до ремонтної документації авіаційно-ремонтного підприємством, що передбачає заміну (ремонт) вузлів та деталей виробу авіаційної техніки, які відмовили, та врахування цього в специфікації послуг послідуючих договорів на ремонт однотипних зразків авіаційної техніки;

внесення змін до діючої нормативно-правової бази гарантійного обслуговування відремонтованих зразків авіаційної техніки, які експлуатуються за межами попередньо встановлених ресурсних показників.

Висновки (Conclusion)

Для зменшення ризику критичної залежності від одного приватного виробника необхідних для ремонту та експлуатації АТ комплектувальних виробів, аналогічних штатним,

доцільнім є розвиток державної системи економічного стимулювання (надання преференцій, державної підтримки) вітчизняних підприємств, що задіяні в процесі імпортозаміщення. Для цього, доцільним є ініціювання питання практичної реалізації державної підтримки вітчизняних підприємств, які задіяні в процесі імпортозаміщення в галузі державної авіації з виділенням на це відповідного фінансового ресурсу з Державного бюджету України.

Таким чином, задача забезпечення справності парку АТ ЗС України в умовах особливого періоду з урахуванням реальних виробничих можливостей авіаремонтної галузі має вирішуватися шляхом мінімізації ризиків імпортозаміщення процесів заводського ремонту. Для теоретичного моделювання розподілу випадкових величин, які характеризують надійність, найбільш прийнятними є біноміальний та Пуассона – для дискретних величин; експоненціальний, Вейбулла та нормальний – для неперервних величин.

Рекомендації (Recommendations)

Матеріали публікації становитимуть інтерес для фахівців експлуатуючих частин, яким необхідно проводити постійний моніторинг процесів забезпечення достатнього рівня післяремонтної надійності кожного типу АТ для своєчасного виявлення слабких місць та для оперативної підготовки (спільно з підприємствами) відповідних заходів щодо ефективного усунення недоліків та їх запобігання.

Посилання

1. Сушак, М. Б., Борохвостов, В. К., Рябець, О. М. (2019) Оцінка ефективності та проблемні фінансові, економічні та виробничо-технологічні питання впровадження на підприємствах України імпортозаміщення під час заводського ремонту авіаційної техніки. *Зб. наук. пр. ЦНДІ ОВТ ЗС України*. № 2 (73). С. 71–79.
2. Reliability Engineering and Risk Analysis (2016) A Practical Guide, 3rd Edition. Modarres, M., Kaminskiy, M. P., Krivtsov, V. Maryland. CRC Press. 522 p.
3. Міщенко, В. Б., Сушак, М. Б., Василенко, О. А. (2020) Проблемні питання матеріального забезпечення заходів бойової підготовки у військових частинах та шляхи їх вирішення. *Актуальні проблеми застосування ЗС України, управління ними, їх оперативного та логістичного забезпечення*. Зб. мат. наук.-практич. конф., 4 листопада 2020 року. Київ. ЦНДІ ЗС України. С. 164–168.
4. Сушак, М. Б., Грицюк, Ю. Д. (2022) Аналіз технічних аспектів проблем якості ремонту військової авіаційної техніки. *Проблеми якості оборонної продукції: організаційні, технічні а фінансово-економічні аспекти*. Тези доповідей IV Всеукраїнської наук.-практич. конф., 30 червня 2022 року. Київ. НУОУ ім. Івана Черняховського. С. 150–163.
5. Risk Theory (2022) (Rational Decision in the Face of Chance, Uncertainty, and Risk) Rescher Nicholas. 1st Edition. SpringerBriefs. 80 p.
6. Aircraft Reliability and Reliability Centred Maintenance (2021) A Practical Guide for Aircraft Reliability Engineers Daniel Olufisan. 226 p.
7. Risk Theory (2017): A Heavy Tail Approach. Konstantinides, D. G. 508 p.
8. Barlov, R. E., Hunter, L. C. (1960) Mathematical models for system reliability. The Sylvania Technologist, v. XIII, № 1, 2.
9. Asif, M. (2020). Safety and Risk Assessment of Civil Aircraft during Operation. Open access peer-reviewed edited volume. Academic Published 23 December 2020. 210 p. DOI 10.5772/intechopen.90993. PRINT ISBN 978-1-78984-792-5.
10. Safety and Risk Assessment of Civil Aircraft during Operation (2020) Longbiao, Li. IntechOpen, 210 p.

11. Іленко, Є. Ю, Сушак, М. Б., Стешенко, П. М. (2018) Визначення міжремонтного ресурсу авіаційних двигунів в процесі імпортозаміщення комплектуючих виробів. *Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба.* № 4 (56). С. 00–000.
12. Смирнов, Н. И., Ицкович, А. А., Загребельный, В. И. (1972) О применении технической диагностики для определения сроков замены самолётных агрегатов. Москва. Наука. С. 69–73. (Тр. 1-го Всесоюзного совещания).
13. Масягін, В. І., Сушак, М. Б., Бездєльний, В. В. (2021) Визначення ймовірних властивостей процессу гарантійного обслуговування зразків авіаційної техніки, які експлуатуютьс за межами попередньо встановлених ресурсних показників. *Зб. наук. праць Національного університету "Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка"*. № 2 (64). С. 21–26.
14. Смирнов, Н.И., Ицкович, А.А., Чинючин, Ю.М. (1978) Иерархическая структура показателей эффективности процесса эксплуатации летательных аппаратов. *Техническое обслуживание и ремонт авиационной техники*. Москва. ЦНТИ ГА. Вып. 2. С. 1–7.
15. Сушак, М. Б., Грень, В. М., Клобукова, Н. В., Чернозубкін, І. О. (2021) Методичний підхід щодо визначення основних показників надійності зразків авіаційної техніки в міжремонтний період експлуатації. *Зб. наук. праць ДНДІА*. № 17 (24). С. 80–88.
16. Митчелл, М. Дж. (2002). "Приблизительное среднее время наработки на отказ при периодическом обслуживании системы". (PDF). *Транзакции IEEE о надёжности. Июнь 2002 г. № 51 (2). С. 166–167.* DOI 10.1109 / TR.2002.1011521.
17. Rausand, M., Хойланд, А. (2004). Теория надёжности системы. Модели, статистические методы и приложения. Нью-Йорк: Джон Вили и сыновья. ISBN 047147133X.
18. Modarres, M., Каминский, М., Кривцов, В. (2010). Разработка надёжности и анализ рисков. Практическое руководство (2-е изд.). ISBN 9780849392474.
19. Барлоу, Р., Прошан, Ф. (1969) Математическая теория надежности. Пер. с англ. под ред. Гнеденко, Б. В. Москва. Сов. радио. 488 с.
20. Feller, W. (1957) An Introduction to Probability Theory and Its Applications, v.1, 2 nd ed., John Wiley and Sons, New York.
21. Dais, D. J. (1952) An Analysis of failure data, J. Amer. Statist. Assoc., v. 47, № 258, p. 113–150.
22. Gumbel, E. J. (1958) Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York.
23. Weibull, W. (1939) A statistical theory of the strength of materials. Ing. Vetenskaps Akad. Handl, №151.
24. Kao, J. H. K. (1958) Computer methods for estimating Weibull parameters in reliability studies, IRE Transactions on Reliability and Quality Control, PGRQC-13, p. 15–22.
25. Leiblein, J., Zelen, M. (1956) Statistical investigation of the fatigue life of deep-groove ball bearings, Res, J., Nat. Bureau Stand., v. 57, p. 273–316.

References

1. Sushak, M. B., Borokhvostov, V. K., Ryabets, O. M. (2019) Evaluation of efficiency and problematic financial, economic and production-technological issues of the introduction of import substitution at Ukrainian enterprises during the factory repair of aviation equipment. Coll., *Sci., etc., Central Research Institute of Weapons and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine.* № 2 (73). Pp. 71–79.
2. Reliability Engineering and Risk Analysis (2016) A Practical Guide, 3rd Edition.Modarres, M., Kaminskiy, M. P., Krivtsov, V. Maryland. CRC Press. 522 p.
3. Mishchenko, V. B., Sushak, M. B., Vasylenko, O. A. (2020) Problematic issues of material support of combat training activities in military units and ways to solve them. *Actual problems of the use of the Armed Forces of Ukraine, their management, their operational and logistical*

support. Coll. Math. Scientific and Practical Conf., November 4, 2020. Kyiv. Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine. pp. 164–168.

4. Sushak, M. B., Hrytsiuk, Y. D. (2022) Analysis of technical aspects of quality problems of repair of military aviation equipment. *Problems of quality of defense products: organizational, technical, financial and economic aspects*. Abstracts of reports of the I V All-Ukrainian Scientific and Practical Conference. conf., June 30, 2022. Kyiv. NUOU them. Ivan Chernyakhovskyi. pp. 150–163.
5. Risk Theory (2022) (Rational Decision in the Face of Chance, Uncertainty, and Risk) Rescher Nicholas. 1st Edition. SpringerBriefs. 80 p.
6. Aircraft Reliability and Reliability Centred Maintenance (2021) A Practical Guide for Aircraft Reliability Engineers Daniel Olufisan. 226 p.
7. Risk Theory (2017): A Heavy Tail Approach. Konstantinides, D. G. 508 p.
8. Barlov, R. E., Hunter, L. C. (1960) Mathematical models for system reliability. The Sylvania Technologist, v. XIII, № 1, 2.
9. Asif, M. (2020). Safety and Risk Assessment of Civil Aircraft during Operation. Open access peer-reviewed edited volume. Academic Published 23 December 2020. 210 p. DOI 10.5772/intechopen.90993. PRINT ISBN 978-1-78984-792-5.
10. Safety and Risk Assessment of Civil Aircraft during Operation (2020) Longbiao, Li. IntechOpen, 210 p.
11. Ilenko, E. Y., Sushak, M. B., Steshenko, P. M. (2018) Determination of the overhaul life of aircraft engines in the process of import substitution of components. *Coll., Sci., pr., Kharkiv University of the Air Force. Ivan Kozhedub.* No 4 (56). P. 00–000.
12. Smirnov, N. I., Itskovich, A. A., Zagrebelny, V. I. (1972) On the use of technical diagnostics to determine the timing of the replacement of aircraft units. Moscow. Science. pp. 69–73. (Tr. of the 1st All-Union Conference).
13. Masyagin, V. I., Sushak, M. B., Bezdelnyi, V. V. (2021) Determination of the probable properties of the warranty service process for aircraft samples operated beyond the pre-established resource indicators. Coll. of *Sciences, Proceedings of the National University "Poltava Polytechnic. Yuri Kondratyuk".* No 2 (64). pp. 21–26.
14. Smirnov, N.I., Itskovich, A.A., Chinyuchin, Y.M. (1978) Hierarchical structure of performance indicators of the process of operation of aircraft. *Maintenance and repair* of aviation equipment. Moscow. CSTI CA. Vyp. 2, pp. 1–7.
15. Sushak, M. B., Gren, V. M., Klobukova, N. V., Chernozubkin, I. O. (2021) Methodical approach to determining the main indicators of reliability of aircraft samples in the overhaul period of operation. Coll. of *Sci. Proceedings of the State Research Institute of Historical Research.* № 17 (24). pp. 80–88.
16. Mitchell, M. J. S. Miller, Es (2002). "Approximate Mean Time Between Failures of Periodic System Maintenance". (PDF). *IEEE* Transactions *on Reliability. June 2002 No. 51 (2). pp. 166–167.* DOI 10.1109 / TR.2002.1011521.
17. Rausand, M., XOyland, A. (2004). System Reliability Theory. Models, statistical methods, and applications. New York: John Wiley & Sons. ISBN 047147133X.
18. Modarres, M., Kaminsky, M., Krivtsov, V. (2010). Reliability development and risk analysis. A Practical Guide (2nd ed.). ISBN 9780849392474.
19. Barlow, R., Proshan, F. (1969) Mathematical Theory of Reliability. Lane. Ed. by Gnedenko, B. V. Moscow. Sov. radio. 488 p. (in Russian).
20. Feller, W. (1957) An Introduction to Probability Theory and Its Applications, v.1, 2 nd ed., John Wiley and Sons, New York.
21. Dais, D. J. (1952) An Analysis of failure data, J. Amer. Statist. Assoc., v. 47, № 258, p. 113–150.

22. Gumbel, E. J. (1958) Statistics of Extremes, Columbia University Press, New York.
23. Weibull, W. (1939) A statistical theory of the strength of materials. Ing. Vetenskaps Akad. Handl, №151.
24. Kao, J. H. K. (1958) Computer methods for estimating Weibull parameters in reliability studies, IRE Transactions on Reliability and Quality Control, PGRQC-13, p. 15–22.
25. Leiblein, J., Zelen, M. (1956) Statistical investigation of the fatigue life of deep-groove ball bearings, Res, J., Nat. Bureau Stand., v. 57, p. 273–316.

Solving the problem of ensuring the serviceability of the fleet of aviation equipment of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of a special period

Myhailo Sushak
Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher
Head of R&D Department
State Research Institute of Aviation
01135, Hryhoriya Andryushchenko Street, 6v, Kyiv, Ukraine
e-mail: sushak_m@ukr.net
ORCID: 0000-0001-7747-2303

Yuriy Bratus
Candidate of Technical Sciences
Deputy Head of the Research Department
State Research Institute of Aviation
01135, Hryhoriya Andryushchenko Street, 6v, Kyiv, Ukraine
e-mail: 0673678791@ukr.net
ORCID:0009-0003-4947-9083

Mykola Vasianovych
candidate of military sciences, senior researcher
head of the center
Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine
03049, 28B, ave. Povitroflotskyi, Kyiv, Ukraine
e-mail: m.o.vasianovych@post.mil.gov.ua
ORCID: 0000-0002-8409-4774

Abstract. The technical condition of the entire aviation fleet of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine is characterized by the exhaustion of the established resource (service life). Of particular importance for the predictive planning of engineering and aviation support measures is the analysis of the post-repair reliability of aircraft during the implementation of factory repair measures. Analysis of the activities of aircraft repair enterprises Ukraine testifies to the existence of a number of problematic issues that negatively affect the current state of the aircraft repair base and development prospects. The characteristic features of the current state of the majority of aircraft repair enterprises determine the expediency of forming management decisions on the factory repair and technical operation of aviation equipment of state aviation from the standpoint of minimizing potential risks. Program of maintenance and repair of all types of aircraft of the Air Force of the Armed Forces Ukraine can be considered as a set of lower-level programs. The system for ensuring the serviceability of state aviation equipment is a complex multifactorial, essentially non-linear and non-stationary system, therefore, one of the expedient approaches to assessing the impact of risk-

forming factors on ensuring a given level of serviceability of the fleet of aviation equipment is to consider analogies for a system of adequate complexity. As such a system, it is possible to consider the system of aircraft repair enterprises in the implementation of import substitution measures with appropriate risks. The authors propose an algorithm for the formation of a plan for the repair of aviation equipment through an iterative process, in which the minimum risk of ensuring a given level of serviceability of the fleet of state aviation equipment is achieved. For each of the scenarios of the special period, a separate version of the plan for the repair of the aircraft is considered. technique. In order to reduce the risk of critical dependence on one private manufacturer of components necessary for the repair and operation of aviationequipment, similar to the standard ones, it is expedient to develop a state system of economic incentives (provision of preferences, state support) of domestic enterprises involved in the process of import substitution. To this end, it is expedient to initiate the issue of practical implementation of state support for domestic enterprises involved in the process of import substitution in the field of state aviation with the allocation of appropriate financial resources from the State Budget of Ukraine. Thus, the task of ensuring the serviceability of the fleet of aircraft of the Armed Forces of Ukraine in the conditions of a special period, taking into account the real production capabilities of the aircraft repair industry, should be solved by minimizing the risks of import substitution of factory repair processes. For theoretical modeling of the distribution of random variables that characterize reliability, the most acceptable are binomial and Poisson for discrete variables; exponential, Weibull, and normal – for continuous quantities.

Keywords: engineering and technical support of aviation equipment, ensuring a given level of serviceability of aviation equipment, minimizing risks, ensuring a sufficient level of reliability of aviation equipment.