

doi: 10.32620/oikit.2024.102.03

УДК 629.73.0012

В. Є. Василевський, О. Г. Гребеніков

Фактори забезпечення надійної роботи закрилків літаків транспортної категорії

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ»

У роботі проведено аналіз заходів для забезпечення надійної роботи закрилків та системи керування закрилками літаків транспортної категорії. Проаналізовано низку катастроф, причиною яких багато в чому були закрилки. Розглянуто специфічні вимоги до закрилків та системи їх керування для забезпечення безаварійної експлуатації. Подано основні фактори, які враховуються для забезпечення безпеки системи керування закрилками. Розглянуто переваги, які створюють засоби механізації крила. Описано закрилки Ан-140, для забезпечення надійності експлуатації яких опори закрилків виконані з дублюванням критичних елементів. Параметри елементів вибрано за умови, що кожний з двох елементів має витримувати нормоване експлуатаційне навантаження при повному руйнуванні одного з них. Розглянуто закрилки літака Ан-148 та система керування ними. Розглянуто нову концепцію керування літаком, суть якої полягає в розробленні та створенні системи керування, що отримує живлення від двох гідравлічних систем і двох централізованих електричних систем.

Ключові слова: крило, механізація, закрилок, конструкція, надійність, безпека, проектування.

Закрилки – це найважливіший елемент аеродинамічної схеми літака, який відіграє ключову роль у забезпеченні безпеки та ефективності зльоту і посадки. Ці пристрої збільшують піднімальну силу крила, а також змінюють його аеродинамічні характеристики, що дає змогу літаку виконувати маневри на низьких швидкостях. Однак для того, щоб закрилки виконували свої функції належним чином, необхідно забезпечити їхню надійну і безвідмовну роботу в критично важливі моменти польоту.

Про це свідчить низка катастроф, причиною яких часто були закрилки. Так, в аеропорту Анкоріджа на літаку Боїнг-707 під час зльоту не випустилися закрилки у злітне положення на 14 градусів. Екіпаж, не підозрюючи, що закрилки не випустилися, відірвався від землі, вважаючи, що закрилки випущені. Після чого через недостатню швидкість польоту розвинулася поперечна нестійкість і літак нахилився вправо на кут 90 градусів, а потім торкнувся закінцівкою правої площини крила і врізався в землю. На літаку Ту-124 у польоті за маршрутом Київ–Казань стався мимовільний випуск закрилків. літак перейшов у пікірування і впав на землю. Нещодавно на військово-транспортному літаку Ан-26 під час заходу на посадку в аеропорту Хомеймім відірвався закрилок на одній площині крила. У результаті літак зазнав катастрофи. У Південній Кореї через частковий збій у трьох гідросистемах екіпаж не зміг випустити закрилки і шасі, і літак зазнав катастрофи. Ці катастрофи ілюструють, наскільки важливим є забезпечення якості конструкції закрилків і систем його керування [1].

Під час зльоту і посадки літак зазнає значних аеродинамічних і механічних навантажень. Закрилки дають змогу:

- збільшити піднімальну силу, що є особливо важливим під час зльоту, коли літаку потрібно подолати силу тяжіння з мінімальною швидкістю;
- знизити швидкість посадки літака, під час посадки закрилки збільшують

піднімальну силу і водночас збільшують опір повітря, що сприяє зниженню швидкості і м'якшому приземленню;

- стабілізувати політ на малих швидкостях, що є важливим на стадії підйому і під час зниження, коли аеродинамічні характеристики літака змінюються з великою швидкістю.

Складність роботи закрилків полягає в тому, що вони мають діяти синхронно з іншими системами літака, як-от двигуни, системи керування та гальмівні системи.

Надійна робота закрилків залежить від безлічі чинників разом з механічним станом самих закрилків, роботою гідравлічних і електричних систем, а також потребує ретельної перевірки та обслуговування їхніх механізмів.

Насамперед необхідно забезпечити надійність власне закрилка та механізмів його навішування. Це забезпечується системою проєктування, технологією їх виготовлення, застосуванням у конструкції закрилка та механізмів його навішування сучасних надійних матеріалів, системою забезпечення ресурсних характеристик та системою технічного обслуговування [2].

У зв'язку з їхньою критичною роллю для безпеки існує ціла низка заходів, спрямованих на забезпечення безпеки закрилків під час виконання цих маневрів. Розглянемо ці заходи.

Критичні елементи конструкції закрилка та система керування закрилками мають бути дубльованими для запобігання можливим відмовам. У разі поломки одного з каналів керування, система має автоматично переходити в резервний режим.

Необхідно забезпечити постійний моніторинг стану закрилків, їхніх механізмів та сенсорів системи керування закрилками. Система має сигналізувати пілотам про будь-які аномалії, такі як неповне або неправильне розкриття закрилків.

Технічне обслуговування закрилків і систем керування має включати ретельну перевірку їхньої працездатності перед кожним зльотом. Цим передбачаються перевірка закрилків, механізмів їх навішування, електронних та механічних елементів системи керування, а також контроль на відсутність фізичних пошкоджень.

Під час зльоту закрилки мають поступово випускатися залежно від поточної швидкості і параметрів польоту. Пілот повинен мати можливість контролювати цей процес через систему керування.

Для забезпечення ефективної роботи закрилків на зльоті необхідно точно контролювати швидкість, при якій вони починають відхилятися. Неправильне застосування закрилків може призвести до втрати піднімальної сили або навіть до відмови системи.

У разі відмови основної системи керування закрилками пілот повинен мати можливість управлінської дії через резервні канали або аварійні механізми. Це дає змогу забезпечити контроль над літаком навіть за несправностей основних систем.

Під час посадки закрилки мають випускатися на максимальний кут, щоб забезпечити необхідне зниження швидкості та ефективне гальмування повітряним потоком. Пілот повинен точно налаштувати кут згідно з швидкістю і характеристиками літака.

У разі несправності основної системи керування або виникнення непередбачуваних умов у системі має бути передбачено аварійний механізм для правильної роботи закрилків, навіть без участі пілота.

Для запобігання несправності закрилків під час посадки мають бути встановлені спеціальні блокувальні механізми, що забезпечують їх надійну фіксацію на потрібному куті при високих навантаженнях під час посадки.

Протягом зльоту та посадки система має проводити постійну діагностику роботи закрилків, що дає змогу вчасно виявляти відмови або нестандартні ситуації.

Механізми закрилків мають бути перевірені на наявність фізичних пошкоджень, таких як зношування або корозія, що може призвести до поломки або неправильного функціонування під час зльоту або посадки.

Пілот повинен регулярно перевіряти роботу закрилків і отримувати інформацію про їхнє становище через інтерфейси на панелі приладів.

Під час посадки або зльоту можуть виникнути екстремальні умови, наприклад пориви вітру або зміни погодних умов, які можуть вплинути на функціонування закрилків. У таких випадках пілот повинен мати чіткі інструкції щодо дій.

Важливою частиною безпеки є забезпечення пілоту можливості зберігати контроль над літаком при будь-яких несправностях закрилків, особливо на критичних етапах польоту.

Пілоти повинні проходити регулярне навчання, яке включає тренування в умовах екстремальних ситуацій, пов'язаних із закрилками. Це включає використання авіаційних симуляторів для тренування дій у разі відмов.

Технічний персонал повинен мати чітке розуміння роботи системи керування закрилками і проводити регулярні перевірки і ремонти системи [2].

Нижче представлені основні фактори, які враховуються для забезпечення безпеки системи керування закрилками (рис. 1).

Ці фактори дають змогу забезпечити надійність і безпеку експлуатації закрилків та системи керування закрилками на транспортних літаках, що є необхідним для запобігання авіаційним інцидентам та аваріям.

На літаку Ан-140 для забезпечення надійності експлуатації опори закрилків виконано з дублюванням критичних елементів [3, 4]. На рис. 2 показано опору закрилка з кронштейнами, що складаються з двох елементів. Елементи 1 і 2 дублюють один одного. Кронштейни навіски 3 та 4 також дублюють один одного. По такому ж принципу виконано кронштейни 5, 6, 7 і 8. Параметри елементів вибрано за умови, що кожний з двох елементів має витримувати нормоване експлуатаційне навантаження при повному руйнуванні одного з них. Таким чином забезпечено двошляхову передачу навантаження. Сам закрилок виконано з забезпеченням потрібної жорсткості конструкції. Тому рівні напруження в елементах його конструкції помірні. Закрилок виконано із сертифікованих матеріалів і з застосуванням надійних методів і технологій забезпечення ресурсних характеристик.

Розглянемо конструкцію закрилків та систему їх керування літака Ан-148. Закрилки складаються з металевого силового кесона і носової та хвостової частин, виконаних із композиційних матеріалів. Агрегати закрилка виконано за типовими конструктивними схемами із застосуванням перевірених матеріалів і технологій з урахуванням досвіду проєктування й багаторічної експлуатації подібних конструкцій. Матеріали і напівфабрикати паспортизовані і поставляються відповідно до затверджених технічних умов. Механізми висування закрилків виконано з високоміцних сталей і титанових сплавів. Конструкцію закрилків і механізми їхнього навішування спроєктовано також із застосуванням конструктивного дублювання критичних елементів [5, 6].

№ п/п	Розділ	Фактори
1	Проектування закрилків та системи керування	<ul style="list-style-type: none"> • Конструкція та система повинні мати резервування для основних і допоміжних компонентів, щоб забезпечити працездатність системи навіть у випадку відмови одного з елементів • Необхідно забезпечити надійність і стійкість системи до електричних і механічних відмов • Інтерфейси системи керування закрилками мають бути захищені від зовнішніх факторів, таких як короткі замикання, перенапруження або перевантаження
2	Моніторинг і діагностика	<ul style="list-style-type: none"> • Установлення систем моніторингу та діагностики для виявлення відмов або порушень у роботі закрилків • Виявлення аномалій у поведінці системи керування закрилками, таких як неповний випуск або застрягання механізмів закрилків, є важливим для своєчасного виявлення дефектів • Виявлення помилок у сенсорах і механізмах, що використовуються для регулювання закрилків
3	Перевірки та тестування	<ul style="list-style-type: none"> • Система має регулярно проходити технічне обслуговування, а також тестування на кожному етапі експлуатації • Технічні перевірки мають містити тестування механічних частин, електричних з'єднань і проводку системи керування закрилками • Можливість перевірки ефективності дій в екстремальних умовах, таких як швидкісний режим або маневри на низьких висотах
4	Аварійні режими та система відмов	<ul style="list-style-type: none"> • Для забезпечення безпеки має бути реалізована система аварійного керування закрилками у разі відмови основної • Важливо передбачити систему аварійного спрацювання, що дає змогу пілоту взяти під контроль систему закрилків, навіть якщо основний канал керування вийшов з ладу
5	Профілактика та навчання персоналу	<ul style="list-style-type: none"> • Навчання пілотів і технічного персоналу щодо можливих відмов системи керування закрилками та способів їх усунення • Регулярні тренування для пілотів на симуляторах для підготовки до нестандартних ситуацій, пов'язаних із закрилками • Оновлення інструкцій з експлуатації та рекомендацій щодо безпеки
6	Система захисту від перегрівання та перевантажень	<ul style="list-style-type: none"> • Для кожної частини системи керування закрилками має бути встановлена система захисту від перегрівання, перевантаження та несправностей в електричних ланцюгах • Урахування впливу температурних і механічних навантажень на матеріали та компоненти
7	Інтеграція з іншими системами літака	<ul style="list-style-type: none"> • Система керування закрилками має бути інтегрована з іншими ключовими системами літака, такими як автопілот, системи стабілізації, а також з системами аварійного керування • Взаємодія з іншими компонентами (наприклад, система збільшення тяги або системи зміни кута атаки) має бути безпечною та ефективною для забезпечення стабільності польоту

Рис.1. Фактори при забезпеченні безпеки закрилків та системи керування закрилками

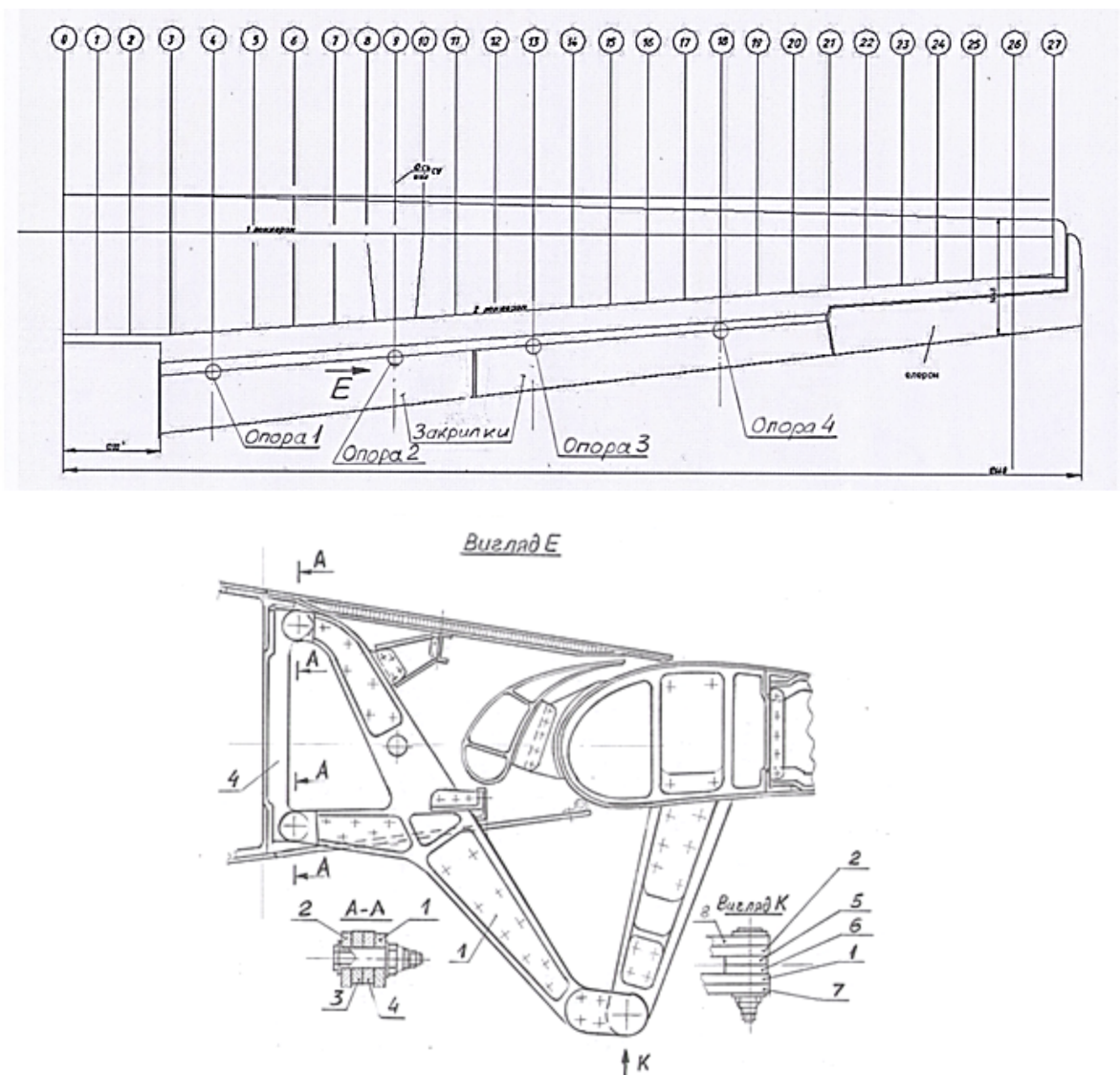
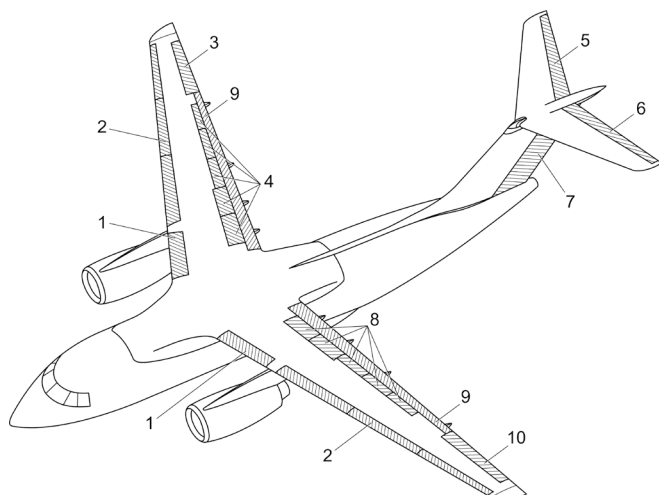


Рис. 2. Схема крила літака Ан-140 з дублюванням елементів опор закрилка

На рис. 3 подано схему розташування агрегатів механізації крила літака Ан-148. Зазвичай система керування літаків має триразове резервування гідросистеми. Однак на цих літаках, розроблених останнім часом, впроваджено нові концепції керування літаком, суть яких полягає у розробленні та створенні системи керування, що отримує живлення від двох гідравлічних систем і двох централізованих електричних систем. Замість додаткових гідравлічних систем для живлення силових приводів («бустерів») основних поверхонь керування використовують енергію двох централізованих електричних систем змінного струму.

Механізми переміщення закрилків пов'язані з механічною трансмісією, що складається з кулько-гвинтових підйомників, редукторів і жорстких валів, які приводяться у рух вихідним валом комбінованого приводу механізації, які обладнано гідромотором і електродвигуном [6].

На зовнішніх кінцях ланок трансмісії встановлено протиприбиральні гальма, що запобігають прибиранню закрилків, й датчики положення закрилків, що передають сигнали зворотного зв'язку в блок керування (рис. 4).



- 1 – носок крила, цр відхиляється;
- 2 – передкрилки;
- 3 – правий елерон;
- 4 – праві інтерцептори;
- 5 – права секція руля висоти;
- 6 – ліва секція руля висоти;
- 7 – руль напрямку;
- 8 – ліві інтерцептори;
- 9 – закрилки;
- 10 – лівий елерон

Рис. 3. Розміщення механізації на крилі та оперенні літаків Ан-148

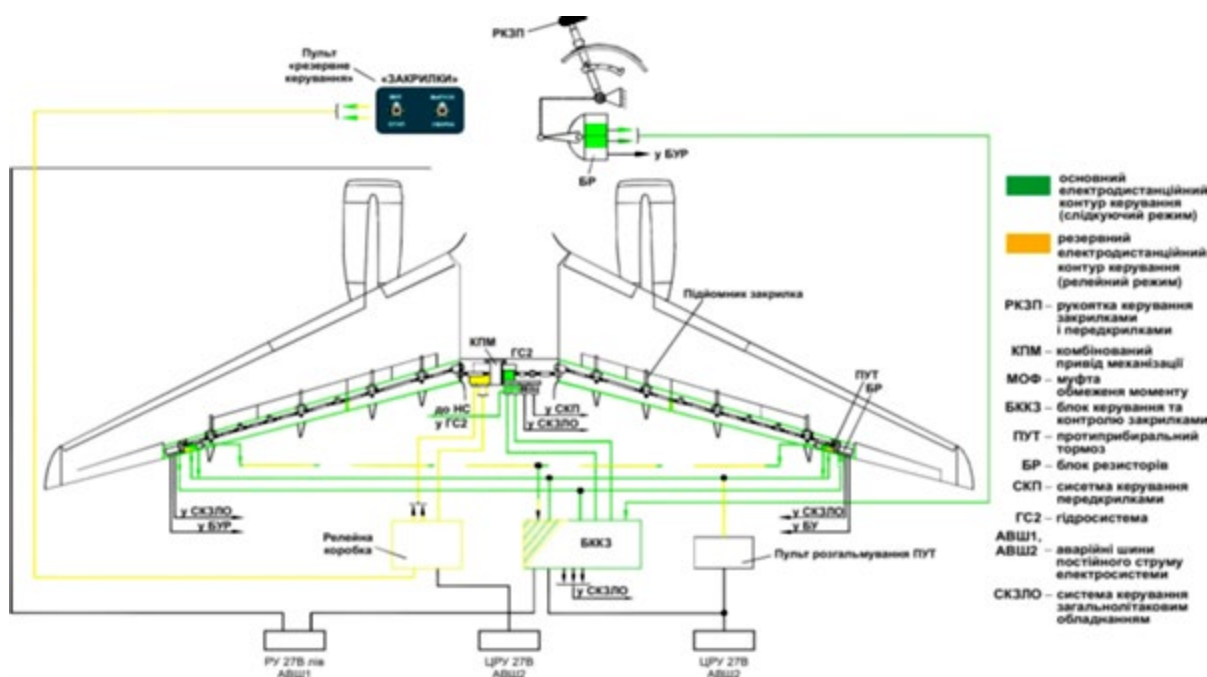


Рис. 4. Схема системи керування закрилками літаків Ан-148

У резервному режимі випуск і прибирання закрилків здійснюється за сигналами перемикачів «ЗАКРИЛКІ ПРИБИРАННЯ – ВИПУСК» за допомогою електричного двигуна комбінованого приводу закрилків.

В основному й резервному режимах керування забезпечується вимкнення комбінованого приводу механізації і блокування трансмісії за таких умов:

- асиметрія закрилків;
- зміщення закрилків від заданого положення;
- рух закрилків у напрямку, протилежному заданому.

При включенні протиприбиральних гальм основна й резервна підсистеми керування вимикаються.

У випадку заклинювання передбачено захист поверхонь закрилків і

трансмисії від підвищеного навантаження з боку вихідного вала комбінованого приводу механізації за допомогою муфт обмеження моменту.

Блок керування передає сигнали про стан системи керування закрилками для відображення повідомлень на багатофункціональному індикаторі й комплексному індикаторі систем і сигналізації комплексної системи екранної індикації і сигналізації.

Забезпечення безпеки закрилків та системи керування закрилками літака транспортної категорії є важливим аспектом, що впливає на безпеку польотів та надійність авіаційної техніки. Хоча катастрофи, пов'язані з відмовами закрилків на транспортних літаках, є досить рідкісними, вони можуть мати серйозні наслідки. Системи керування закрилками мають бути добре спроектовані, резервовані та регулярно перевіряються, щоб запобігти таким інцидентам. У разі відмови закрилків пілоти повинні мати чіткі інструкції та аварійні системи, щоб мінімізувати ризик катастрофи.

Список літератури

1. Вікіпедія, <https://ru.wikipedia.org>.
2. Кива, Д. С. Научные основы интегрированного проектирования самолетов транспортной категории [Текст] : монография. В 3 ч. / Д. С. Кива, А. Г. Гребеников. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2014. – Ч. 1. – 439 с. – Ч. 2. – 326 с. – Ч. 3. – 376 с.
3. Руководство по технической эксплуатации самолета Ан-140. – 2-е изд. – Киев : ГП АНТК им. О. К. Антонова, 2000. – 760 с.
4. Василевський, В. Є. Особливості проектування механізації крила літака транспортної категорії / В. Є. Василевський, О. Г. Гребеніков // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "ХАІ". – Харків, 2023. – Вип. 98. – С. 4–20.
5. Василевський, В. Є. Аналіз конструктивно-технологічних особливостей закрилків крил літаків транспортної категорії / В. Є. Василевський, О. Г. Гребеніков, Д. М. Устюгов // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. пр. / Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "ХАІ". – Харків, 2024. – Вип. 101. – С. 22–39.
6. Балабуєв, П. В. Концепція створення сучасних реактивних регіональних пасажирських літаків [Текст] : монографія / П. В. Балабуєв, О. В. Богуслаєв, О. Д. Донець та ін. // – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського "ХАІ", 2020. – 254 с.

References

1. Vikipediya, <https://ru.wikipedia.org>.
2. Kiva, D. S. Nauchnye osnovy integrirovannogo proektirovaniya samoletov transportnoj kategorii [Tekst] : monografiya. V 3 ch. / D. S. Kiva, A. G. Grebenikov. – Harkov : Nac. aerokosm. un-t im. N. E. Zhukovskogo «HAI», 2014. – Ch. 1. – 439 s. – Ch. 2. – 326 s. – Ch. 3. – 376 s.
3. Rukovodstvo po tehniceskoy ekspluatatsii samoleta An-140. – 2-e izd. – Kiev : GP ANTK im. O. K. Antonova, 2000. – 760 s.
4. Vasilevskij, V. Ye. Osoblivosti proyektuvannya mehanizaciyi krila litaka transportnoyi kategoriyi / V. Ye. Vasilevskij, O. G. Grebenikov // Vidkriti informacijni ta komp'yuterni integrovani tehnologiyi : zb. nauk. pr. / Nac. aerokosm. un-t

im. M. Ye. Zhukovskogo "HAI". – Harkiv, 2023. – Vip. 98. – S. 4–20.

5. Vasilevskij, V. Ye. Analiz konstruktivno-tehnologichnih osobli-vostej zakrilkiv kril litakiv transportnoyi kategorii / V. Ye. Vasilevskij, O. G. Grebenikov, D. M. Ustyugov // Vidkriti informacijni ta komp'yuterni integrovani tehnologiyi : zb. nauk. pr. / Nac. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskogo "HAI". – Harkiv, 2024. – Vip. 101. – S. 22–39.

6. Balabuyev, P. V. Konceptsiya stvorenniya suchasnih reaktivnih regionalnih pasazhirskih litakiv [Tekst] : monografiya / P. V. Balabuyev, O. V. Boguslayev, O. D. Donec ta in. // – Harkiv : Nac. aerokosm. un-t im. M. Ye. Zhukovskogo "HAI", 2020. – 254 s.

Надійшла до редакції 17.12.2024, розглянута на редколегії 18.12.2024

Factors to ensure the reliable of flaps transport category aircraft

The paper analyses the measures to ensure reliable operation of flaps and the flap control system of transport category aircraft. A number of catastrophes, which were largely caused by flaps, are analysed. Specific requirements for flaps and its control system to ensure their trouble-free operation are considered. The main factors that are taken into account to ensure the safety of the flap control system are presented. The advantages created by wing mechanisation are considered. The AN-140 flaps are presented, with flap supports made with duplication of critical elements to ensure reliable operation. The parameters of the elements are chosen from the condition that each of the two elements must withstand the normalised operational load in case of complete destruction of one of them. The flaps and their control system of the AN-148 aircraft are considered. A new concept of aircraft control is presented, the essence of which is the development and creation of a control system powered by two hydraulic systems and two centralised electrical systems.

Key words: wing, mechanization, flap, shield, construction, reliability, safety, design.

Відомості про авторів:

Василевский Віталій Євгенович – аспірант кафедри проектування літаків і вертольотів, Нац. аерокосм. ун-т «Харківський авіаційний інститут», Україна. E-mail: vivas7309@gmail.com ORCID: 0009-0004-0200-8871

Гребеніков Олександр Григорович – доктор технічних наук, професор кафедри проектування літаків і вертольотів, Нац. аерокосм. ун-т «Харківський авіаційний інститут», Україна. E-mail: agrebenikov@ukr.net ORCID:0000-0002-1509-0665.

About the Authors:

Vasilevskiy Vitaliy – Postgraduate Student, Aircraft and Helicopter Design Department, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Ukraine. E-mail: vivas7309@gmail.com ORCID: 0009-0004-0200-8871.

Oleksandr Grebenikov – Dr. Tech. Sc., professor, Department Aircraft and Helicopter Design, National Aerospace University “Kharkiv Aviation Institute”, Ukraine. E-mail: agrebenikov@ukr.net ORCID: 0000-0002-1509-0665.