International scientific journal «Grail of Science» | № 48 (January, 2025)
ISSN 2710–3056

ARTICLE

DOI 10.36074/grail-of-science.10.01.2025.041

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ОПТИКО-ВІЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВИСОКОРОЗТАШОВАНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПЛАНЕРА ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ГРУПА:

Коломійцев Олексій Володимирович
д-р техн. наук, професор, Заслужений винахідник України,
професор кафедри комп'ютерної інженерії та програмування
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна

Комаров Володимир Олександрович
канд. техн. наук, Заслужений винахідник України,
провідний науковий співробітник
Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Україна

Катунін Альберт Миколайович
канд. техн. наук, ст. наук. спів.,
науковий співробітник науково-дослідного відділу
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Філіппенков Олексій Володимирович
доктор філософії з військового управління,
начальник
Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, Україна

Гайбадулов Борис Вікторович
доцент кафедри
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

All rights reserved | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Моргун Євгеній Валерійович
старший викладач кафедри
Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Україна

Фесюн Олександр Володимирович
начальник науково-дослідної лабораторії
Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, Україна

Рагулін Вадим Валерійович
старший науковий співробітник – старший інженер-випробувач
Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, Україна

Джуманязов Юрій Уктамбайович
науковий співробітник – інженер-випробувач
Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, Україна

Фесенко Костянтин Володимирович
молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
Навчально-науковий випробувальний полігон високотехнологічного озброєння та військової техніки, Україна

Анотація. *Безпека та надійність польотів літальних апаратів (ЛА) пов'язана як із роботою у штатному режимі автоматизованих систем управління і регулювання, цифрових обчислювальних машин та різного роду елементів, вузлів, блоків, виробів тощо, так і дотримання цілісності авіаційної конструкції у цілому. Тому, у завдання технічного обслуговування і ремонту ЛА входить обслуговування та відновлення як відмовленого обладнання, так й виявлених деградаційних процесів (втоми, корозії тощо). В статті розкрито особливості огляду високорозташованих конструкцій планера ЛА. Доведено переваги та недоліки оптико-візуального методу діагностичного контролю ЛА. Запропоновано метод дефектоскопії зовнішніх поверхонь планера ЛА за допомогою БпЛА, що обладнані сучасними відеокамерами (засобами візуального контролю). Метод дозволить оперативно та з мінімальною трудомісткістю отримати повну достовірну інформацію про технічний стан конструкції планера ЛА, що контролюється.*
Ключові слова: *безпілотний літальний апарат, оптико-візуальний контроль, літальний апарат, авіаційна конструкція, планер, дефектоскопічний контроль, діагностика, тріщина.*

Вступ. Головним джерелом зміцнення та зростання економіки підприємств цивільної авіації є висока безпека і надійність польотів літальних апаратів (ЛА). Забезпечення високої ефективності використання за призначенням ЛА пов'язано з одного боку (внутрішніх факторів) із роботою у штатному режимі автоматизованих систем управління і регулювання,

 Авторські права захищені | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

цифрових обчислювальних машин та різного роду елементів, вузлів, блоків, виробів тощо, а з іншого боку (зовнішніх факторів) – дотримання цілісності конструктивних елементів ЛА для льотної придатності. Тому, у завдання технічного обслуговування і ремонту ЛА входить обслуговування та відновлення не тільки відмовленого обладнання, а й виявлених деградаційних процесів (втоми та корозії). Проблема втомного ресурсу ЛА – це напрацювання під час експлуатації до граничного стану, яке визначається критеріями втомної міцності та пов'язана з накопиченням втомних ушкоджень і руйнуванням авіаційних конструкцій від втомних тріщин. До найпоширеніших форм пошкоджень можливо віднести усі види тріщин (зламів), що виникають внаслідок перевищення граничної міцності елемента конструкції ЛА. Пошкодження зумовлені, в основному, характером механічних та теплових навантажень (статичних, динамічних та їх комбінацій).

Постійно зростаючий парк ЛА з великим нальотом особливо схильний до прояви деградаційних процесів. Тому, до обслуговування та відновлення такого парку необхідне залучання спеціальних сучасних методів та підходів.

Стрімкий розвиток інформаційних технологій за останні роки сприяв величезним змінам як у суспільстві, в загалі, так і у сфери застосування безпілотних літальних апаратів (БпЛА, дрони). Широкий спектр функціональних можливостей БпЛА з кожним днем розширює їх коло застосування як у науковій і військовій, так і у цивільній сферах. Вони стають популярними інструментами для отримання просторових даних для різного роду аналізів, 3-D моделювання тощо. До основних переваг застосування БпЛА є: суттєва економічність, висока точність та можливість роботи у важкодоступних місцях тощо. Завдяки тому, що БпЛА оснащені найсучаснішими камерами з високими технічними характеристиками та засобами автоматизації з елементами штучного інтелекту – вони активно застосовуються для ведення різного роду моніторингу.

Таким чином, розробка пропозицій щодо застосування БпЛА для проведення оптико-візуального контролю (ОВК) високорозташованих конструкцій планера ЛА є актуальнім науко-технічним завданням.

Основна частина. Одним із заходів інженерно-авіаційної служби щодо підтримки ЛА у справному стані є проведення дефектоскопічного контролю їх конструктивних елементів. Метою такого контролю є своєчасне виявлення тріщин, корозії, а також порушення нормального становища (руйнування конструкцій), щоб вжити заходів щодо усунення виявлених дефектів. Застосування засобів дефектоскопії на різних етапах експлуатації ЛА забезпечує, як найважливіший напрямок діагностування, стеження за розвитком у процесі експлуатації ЛА допустимих пошкоджень матеріалу та прогнозування на цій основі працездатності ЛА у цілому. Не виявлені критичні та значні дефекти можуть спричинити руйнування авіаційної конструкції під час експлуатації.

Під експлуатаційним контролем в умовах експлуатації ЛА розуміється контроль, який проводиться на аеродромі з демонтажем (без демонтажу) конструктивних елементів планера ЛА. Порівняно з контролем у промисловості, перед контролем при експлуатації необхідно проводити підготовчі роботи, іноді великої трудомісткості. На приклад, для огляду високорозташованих

All rights reserved | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

конструкцій планера ЛА необхідно задіяти спеціальні громіздкі пристрої – драбини, пересувні вишки, приставні драбини, платформи та спеціально призначене для кожного виду контролю обладнання та пристрої, які мають огорожу. Роботи на висоті повинні виконуватись із застосуванням зазначеного обладнання. При необхідності виконувати роботи на високорозташованих конструкціях планера ЛА, наприклад, на стабілізаторі літака типу Іл-76, що розташований на висоті 15 м від поверхні землі (рис. 1), з одночасним підтримуванням обладнання для контролю, слід застосовувати сходи, драбини з верхніми майданчиками, захищеними з трьох сторін запобіжним бар'єром (перилами).

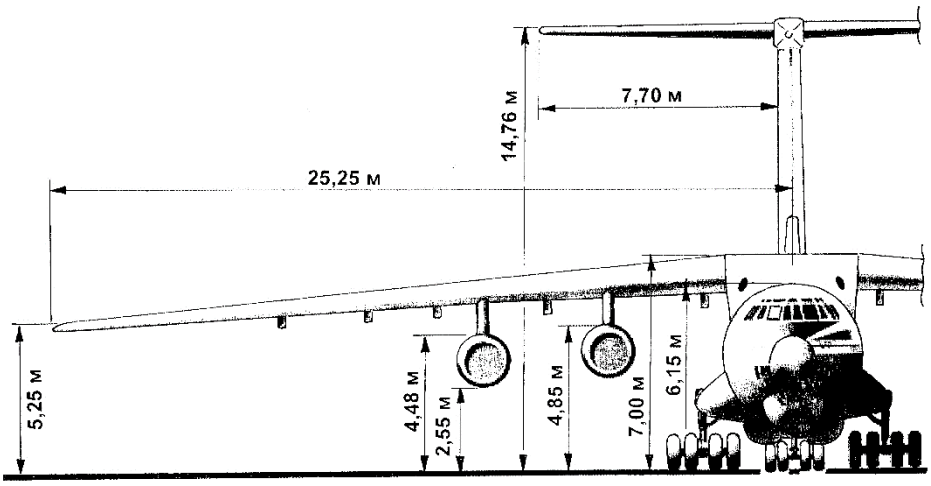


Рис. 1. Схема розташування за висотою конструкцій планера літака типу Іл-76

Варіанти конструктивного виконання зазначеного спеціального обладнання показані на рис. 2-7, де на рис. 2-3 показані варіанти спеціального обладнання, що призначені для огляду передньої частини фюзеляжу, на рис. 4 показаний варіант спеціального обладнання, що призначене для огляду консолі крила, на рис. 5 показаний варіант спеціального обладнання, що призначене для огляду задньої частини фюзеляжу, на рис. 6-7 показані варіанти спеціального обладнання, що призначене для огляду кіля і стабілізатора. Тому, дефектоскопічний контроль у процесі експлуатації має особливості, через які неможливо для його проведення використовувати штатні методики, що застосовуються при виготовленні ЛА. Такі особливості полягають у наступному:

- контролю піддаються конструкції великих розмірів (з великою площею, яку необхідно проконтролювати), на поверхні яких нанесені лакофарбові, силікатні, емалеві та інші покриття, а також є окисні плівки, різні відкладення (нагар, забруднення), механічні пошкодження (забоїни, ризки, тріщини тощо), корозійно-ерозійні ушкодження;

- зони, у яких виникають експлуатаційні дефекти знаходяться у важкодоступних місцях (на висотах від 3 до 15-20 м, залежно від типу ЛА);

- роботи проводяться часто на відкритих стоянках аеродромів, у різних кліматичних та погодних умовах, що є небезпечним для фахівців експлуатуючих

 Авторські права захищені | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

підрозділів, які оглядають авіаційні конструкції, що знаходяться на висотах більше 5 м від поверхні аеродрому.



Рис. 2. Спеціальне обладнання, що призначено для огляду носової частини фюзеляжу

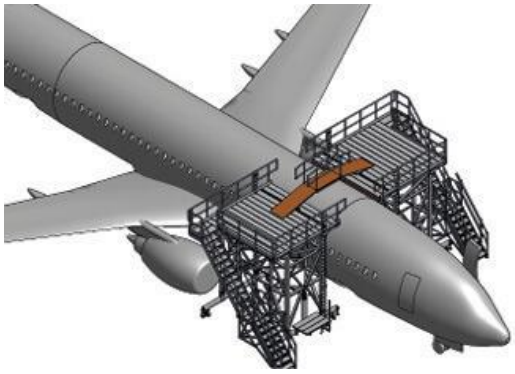


Рис. 3. Спеціальне обладнання, що призначено для огляду передньої частини фюзеляжу



Рис. 4. Спеціальне обладнання, що призначено для огляду консолі крила літака



Рис. 5. Спеціальне обладнання, що призначено для огляду задньої частини фюзеляжу



Рис. 6. Спеціальне обладнання, що призначено для огляду кіля та стабілізатора



Рис. 7. Спеціальне обладнання, що призначено для огляду кіля та стабілізатора

Ефективність дефектоскопічного контролю ЛА визначається за наступними показниками:

- достовірністю результатів;

All rights reserved | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

- тривалістю виконання контролю та трудовитратами;
- періодичністю контролю;
- дефектоскопічною технологічністю ЛА (ці властивості передбачають пристосованість авіаційної конструкції до контролю одним методом або комплексом методів, інструментальну доступність контрольованих місць (поверхень) на ЛА при мінімумі демонтажних робіт і, як найважливіше, витрат часу на проведення контролю, до якого входять витрати часу на підготовку спеціального обладнання, проведення контролю та демонтажу спеціального обладнання, що є найбільш суттєвим при проведенні ОВК зовнішніх поверхонь планера ЛА).

Оптико-візуальний контроль – це метод дефектоскопії із застосуванням оптичних приладів. Він використовується для виявлення різних поверхневих дефектів, огляд закритих конструкцій, важкодоступних місць ЛА (за наявності шляхів для доступу приладів до контрольованих місць). Під час візуального контролю оператор повинен виявити неозброєним оком дефект типу тріщини або точки корозії розміром не менше 0,1 мм.

Оптико-візуальний метод діагностичного контролю – це метод, який заснований на використанні законів поширення та заломлення променів світла у системах оптичних приладів та взаємодії світла з контрольованим об'єктом. Однак, ОВК діагностичного контролю має недостатньо високу чутливість та достовірність. Тому, його використовують для пошуку поверхневих дефектів, доступних для безпосереднього огляду, аналізу характеру пошкоджень, виявлених іншими методами дефектоскопії, а також – огляду закритих конструкцій з метою виявлення забруднень та наявності сторонніх предметів. Дефекти навіть щодо великих розмірів можуть бути не виявлені за допомогою оптичних приладів через невеликий контраст з фоном. Метод застосовується для перевірки відкритих поверхонь (зовнішніх і внутрішніх) за допомогою оптичних приладів та призначений для виявлення поверхневих дефектів досить великого розміру: тріщин, подряпин, вм'ятин, корозії, негерметичності тощо (рис. 8).

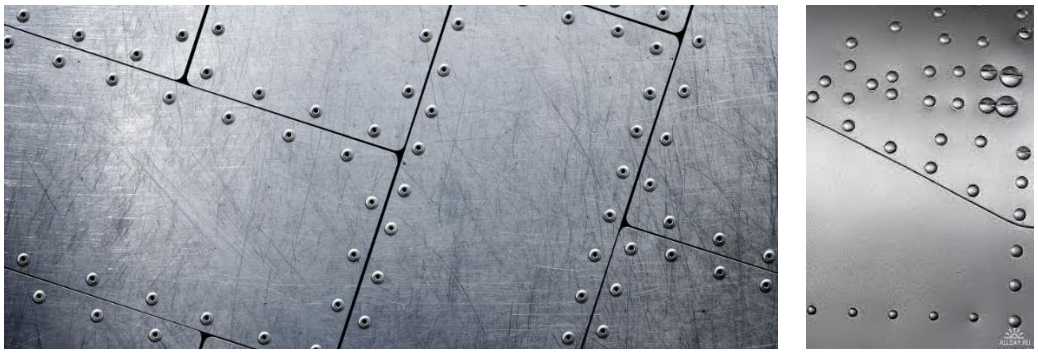


Рис. 8. Вигляд обшивки різних типів ЛА, що отриманий за допомогою візуального спостереження або оптичних і вимірювальних приладів

Метод візуального тестування дозволяє виявляти тріщини, розриви, відхилення розмірів та форми від зазначених більш ніж на 0,1 мм при використанні інструментів зі збільшенням до 10х. Візуальне тестування проводиться неозброєним оком або за допомогою збільшувального скла (збільшувачів) зі збільшенням до 7х. У сумнівних випадках для технічної

 Авторські права захищені | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

діагностики можуть використовуватися збільшувачі зі збільшенням до 20х. Візуальний огляд з використанням оптичних засобів або без них є оригінальним методом неруйнівного контролю, при якому шляхом ретельного візуального огляду може бути виявлено багато поверхневих дефектів обшивки ЛА.

Оптичні засоби, що застосовуються для проведення ОВК, включають лупи малої потужності, мікроскопи, телескопи, а також спеціальні пристрої, такі як бороскопи, ендоскопи та інші волоконно-оптичні пристрої для перевірки зон обмеженого доступу. Ці пристрої також можуть використовуватись із системами телевізійних камер. Успіх візуального огляду залежить від стану поверхні авіаційної конструкції, що діагностується, та розташування освітлення.

Отже, проведення оптико-візуального методу діагностичного контролю на поверхнях високорозташованих конструкцій планера ЛА не забезпечує інструментальну доступність контрольованих місць (поверхень) на ЛА при мінімумі демонтажних робіт і, як найважливіше, призводить до значного збільшення витрат часу на проведення контролю, до якого входять витрати часу на підготовку спеціального обладнання (його збирання для використання як площадки для розміщення спеціалістів з діагностування), проведення контролю зовнішніх поверхонь конструкцій планера ЛА із використанням цього обладнання, та демонтажу зазначеного спеціального обладнання, що є найбільш суттєвим при проведенні оптико-візуального контролю зовнішніх поверхонь планера ЛА. Практика експлуатації ЛА показала, що більше 70% сумарного часу, за який проводиться контроль зовнішніх поверхонь конструкцій планера ЛА, приходиться на збирання/розбирання спеціального обладнання (рис. 2-7) та до 20% – на переміщення спеціалістів з діагностування по спеціальному обладнанню уздовж об'єкта контролю при виконанні робіт.

Для усунення вище зазначених недоліків пропонується використовувати метод дефектоскопії зовнішніх поверхонь планера ЛА за допомогою БпЛА, обладнаних сучасними відеокамерами (засобами візуального контролю). Метод дозволить оперативно та з мінімальною трудомісткістю отримати достовірну інформацію про технічний стан конструкції планера ЛА, що контролюється, незалежно від її геометричного розташування щодо поверхні землі (рис. 9, 10). Застосування методу скоротить час на проведення діагностування. При цьому, контроль може здійснюватися незалежно від місця розташування ЛА.

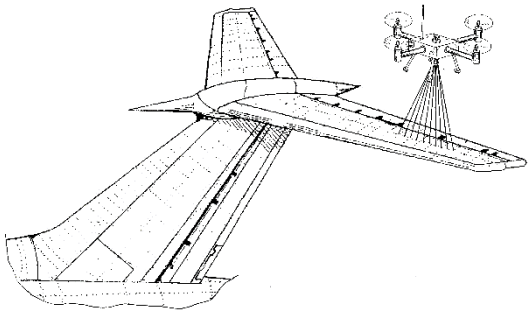


Рис. 9. Огляд за допомогою БпЛА верхньої поверхні стабілізатора літака типу Іл-76

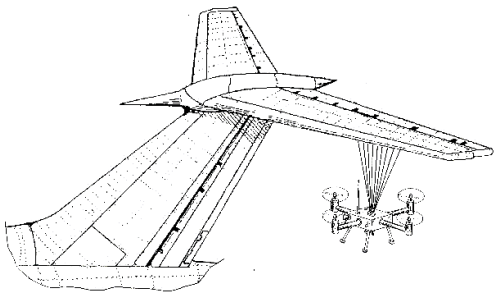


Рис. 10. Огляд за допомогою БпЛА верхньої поверхні стабілізатора літака типу Іл-76

Висновки. Таким чином, застосування БпЛА з відеокамерами з великою роздільною здатністю оптики забезпечує огляд конструкції планера ЛА з висоти,

All rights reserved | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

що є безпечною щодо можливості торкання гвинтами БпЛА конструкції, що діагностується. Шляхом розміщення відеокамер (засобів візуального огляду) на БпЛА у трьох напрямах, зокрема, вверх, униз та у бік, дозволить забезпечити можливість огляду трьохмірно розміщених конструкції планера ЛА без зміни горизонтального положення корпусу БпЛА. Застосування на БпЛА системи підсвічування, а саме, електричного джерела світла – освітлювача, що виконаний у вигляді окремого блоку та розміщений біля кожної з відеокамер так, що їх оптичні осі знаходяться практично по одній осі, дозволить досягти можливості огляду конструкції планера ЛА у темні години доби.

Список використаних джерел:

[1] Коломійцев , О., Комаров , В., Катунін , А., Рудаков , І., Балабуха , О. ., Качуровський , Г., Ковтунов , А., Жирна , О., Косенко , Г., & Максимов , М. (2024). Особливості застосування безпілотних літальних апаратів коптерного типу. *Collection of Scientific Papers «ΛΌГОΣ»*, (August 16, 2024; Oxford, UK), 188–198. https://doi.org/10.36074/logos-16.08.2024.038.

[2] Коломійцев , О., Дмітрієв , О., Комаров , В., Катунін , А., Рудаков , І., Помогаєв , І., … Братко , В. (2024). Особливості застосування нейронної мережі у системі керування групою безпілотних літальних апаратів. *Grail of Science*, (43), 322–334. https://doi.org/10.36074/grail-of-science.06.09.2024.042.

[3] Shmatko , O., Kolomiitsev , O., Rekova , N., Kuchuk , N., & Matvieiev , O. . (2023). Designing and evaluating dl-model for vulnerability detection in smart contracts. *Advanced Information Systems*, *7*(4), 41–51. https://doi.org/10.20998/2522-9052.2023.4.05.

[4] Коломійцев О.В., Комаров В.О., Катунін А.М., Колодій О.П., Помогаєв І.В., Сапон В.І., Кравченко В.Л., Рудаков І.С., Бєсова А.О., Мосійчук А.М. Пропозиції щодо розробки програмного забезпечення для виявлення людей на цифрових аерофотознімках та потоковому відео комп'ютерного зору безпілотного літального апарату. ГРААЛЬ НАУКИ: міжнар. наук. журнал. – Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа»; НУ «Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці», 2024. – No 45. – С. 411-420. DOI 10.36074/grail-of-science.01.11.2024.

[5] Fedorchenko, V., Yeroshenko, O., Shmatko, O., Kolomiitsev, O., & Omarov, M. (2024). Password hashing methods and algorithms on the .net platform. *Advanced Information Systems*, *8*(4), 82–92. https://doi.org/10.20998/2522-9052.2024.4.11.

[6] Kolomiitsev O., Osiievskyi S., Tretiak V., Zakharchenko I., Rybalchenko A. Heiko H. Models and algorithms for determining the probability of occurrence of a critical combination of events for three-element minimum sections in intelligent decision support systems. *2023 IEEE KhPI Week on Advanced Technology*. October 2-6, 2023 in Kharkiv, Ukraine – P. 483-486.

PROPOSALS FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR OPTICAL AND VISUAL INSPECTION OF HIGHLY LOCATED STRUCTURES OF THE AIRCRAFT AIRFRAME

SCIENTIFIC RESEARCH GROUP:
Oleksii Kolomiitsev
Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of Ukraine,
Professor of the Department
National Technical University is the «Kharkiv Polytechnic Institute», Ukraine

 Авторські права захищені | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License

Volodymyr Komarov
PhD, Honored Inventor of Ukraine,
Leading Researcher
Kruty Heroes Military Institute of Telecommunications and Information Technology, Ukraine
Albert Katunin
PhD, Senior Research Scientist,
Senior Researcher
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine
Olexii Filippenkov
PhD,
Chief
Training and Research Testing Ground of High-Tech Armament and Military Equipment, Ukraine
Borys Haibadulov
Associate Professor of Department
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine
Yevhenii Morhun
Senior Lecturer of Department
Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Ukraine
Oleksandr Fesiun
Head of the Scientific Research Laboratory
Training and Research Testing Ground of High-Tech Armament and Military Equipment, Ukraine
Vadim Rahulin
Senior Researcher - Senior Test Engineer
Training and Research Testing Ground of High-Tech Armament and Military Equipment, Ukraine
Yurii Dzhumaniazov
Research Associate – Test Engineer
Training and Research Testing Ground of High-Tech Armament and Military Equipment, Ukraine
Kostiantyn Fesenko
Junior Researcher
Training and Research Testing Ground of High-Tech Armament and Military Equipment, Ukraine

Summary. *The safety and reliability of aircraft flights is associated with the normal operation of automated control and regulation systems, digital computers and various elements, components, blocks, products, etc., as well as the integrity of the aircraft structure as a whole. Therefore, the tasks of aircraft maintenance and repair include maintenance and restoration of both failed equipment and detected degradation processes (fatigue, corrosion, etc.). The article reveals the features of inspection of highly located structures of the airframe. The advantages and disadvantages of the optical-visual method of diagnostic control of aircraft are proved. A method of defectoscopy of the external surfaces of the airframe using UAVs equipped with modern video cameras (visual inspection tools) is proposed. The method will allow to obtain complete reliable information about the technical condition of the airframe structure under control quickly and with minimal labor intensity.*

Keywords: *unmanned aerial vehicle, optical-visual inspection, aircraft, aircraft structure, airframe, flaw detection, diagnostics, crack.*

All rights reserved | Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License