



INOVATÍVNE TECHNOLÓGIE A NÁSTROJE V PROCESE ÚDRŽBY LIETADIEL

Mattiás Štefaňák
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Michal Janovec
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

This master thesis aims to analyze and evaluate innovative technologies and tools through new aircraft maintenance. Through a series of extensive theoretical studies and data obtained during real-life cases, this work will aim to identify the latest trends behind this process and evaluate the impact they have on production, safety, maintenance costs. The most complex theoretical section of the work will be related to such an area as a current state of aircraft maintenance, which in turn will have to integrate dependent trends, such as predictive maintenance, digitization, and state-dependent methods. This part of the work will present the latest technological trends of the industry, such as artificial intelligence and machine learning, 3D printing, augmented reality and virtual reality. The main part of the work will examine the advantages and disadvantages of these technologies, forms of use of AMO technologies, and proposals for improving technologies, such as improving the current use of electronic tablets in the maintenance process, as well as a proposal for the use of AI within the anti-collision system for movement and manipulation of flight on the ground.

Keywords

Aircraft, Maintenance, Artificial intelligence, VR, UAV,

1. Úvod

Proces údržby lietadiel nie je náhodná séria činností, ale precízne organizovaný systém určený na zabezpečenie nekompromisnej bezpečnosti. Letecké úrady na celom svete stanovujú prísne predpisy a požiadavky, diktujúce ako sa musia lietadlá udržiavať. Tieto pravidlá zahŕňajú koncepty ako letová spôsobilosť – súbor požiadaviek, ktoré musí lietadlo spĺňať, aby sa mohlo bezpečne vzniesť do vzduchu. Ďalej definujú detailné údržbové programy, dokumenty načrtávajúce presné úlohy údržby, ktoré sa musia vykonávať v konkrétnych intervaloch. Napokon, technické záznamy slúžia ako denník pre každé lietadlo, poskytujú dôležitú stopu vykonanej údržby aj potenciálnych vzniknutých problémov.

Ako mnoho iných priemyselných odvetví, aj sféra údržby lietadiel čelí neutíchajúcej vlně technológií. Predikčná údržba, poháňaná sensorovým monitorovaním a strojovým učením, sa snaží vyvolať revolúciu v tejto oblasti. Cieľom je predpovedať možné poruchy už pred ich vznikom, umožňujúc technikom reagovať skôr, než sa problém stane katastrofou. Digitalizácia zároveň transformuje proces, zavádzajúc elektronické nástroje pre plánovanie, riadenie a zaznamenávanie úloh údržby, čím sa zefektívňuje celý systém. Koncept údržby založenej na podmienkach (CBM) opúšťa tradičné pevne stanovené intervaly a namiesto toho prispôsobuje údržbu aktuálnemu stavu komponentov lietadla, čím maximalizuje efektívnosť a predlžuje životnosť komponentov. V tejto diplomovej práci si bližšie rozoberieme tieto technológie, no budeme sa zaoberať aj inými inovatívnymi technológiami v celej tejto oblasti ako sú napríklad 3D tlač komponentov, UAV využitie v procese údržby lietadiel na účely kontroly a iné.

Cieľom tejto diplomovej práce je preskúmať a analyzovať inovatívne technológie a nástroje používané v procese údržby lietadiel. Práca sa zameria na identifikovanie prínosov a výziev spojených s implementáciou týchto technológií a nástrojov.

2. Metodika a metódy skúmania

Táto diplomová práca s názvom Inovatívne technológie a nástroje v procese údržby lietadiel sa zameriava na skúmanie vplyvu inovatívnych technológií a nástrojov na proces údržby lietadiel. Práca analyzuje prínosy a výzvy spojené s implementáciou týchto technológií a nástrojov a o ich vplyve na efektívnosť, bezpečnosť a náklady na údržbu lietadiel. V práci je využitá kombinácia kvantitatívnych a kvalitatívnych metód výskumu na analýzu prínosov a výziev implementácie týchto technológií a nástrojov. Práca bude využívať kombináciu kvantitatívnych a kvalitatívnych metód výskumu ako analýza dát na identifikáciu trendov a vzťahov medzi inovatívnymi technológiami a nástrojmi a výsledkami údržby a syntéza dát z kvantitatívnej a kvalitatívnej analýzy na formulovanie návrhov na vylepšenie inovatívnych technológií a nástrojov. V práci sme posudzovali dôležitosť inovatívnych technológií na základe týchto kritérií:

1. Implementácia inovatívnych technológií a nástrojov v procese údržby lietadiel môže viesť k zvýšeniu efektivity a bezpečnosti údržby.
2. Inovatívne technológie a nástroje môžu pomôcť znížiť náklady na údržbu lietadiel.
3. Implementácia inovatívnych technológií a nástrojov môže vyžadovať značné investície a môže s ňou byť spojená aj potreba preškoliť personál.

Hlavným cieľom diplomovej práce je analyzovať prínosy a výzvy implementácie týchto technológií a nástrojov v praxi, posúdiť ich pozitívne a negatívne aspekty a sformulovať návrhy na ich vylepšenie v buď už existujúcich oblastiach alebo nových segmentoch. Cieľom práce je prispieť k zefektívneniu, zabezpečeniu a zekonomizovaniu údržby lietadiel s využitím moderných technológií a nástrojov

3. Výsledky

Údržba lietadiel je komplexný proces, ktorý zahŕňa rôzne činnosti zamerané na udržanie lietadla v prevádzkyschopnom stave a zaistenie jeho bezpečnej prevádzky. Európska agentúra pre bezpečnosť letectva EASA má pre údržbu takýto pojem: „údržbou sa rozumie generálna oprava, oprava, prehliadka, modifikácia alebo odstránenie poruchy na lietadle alebo lietadlovom celku alebo kombinácia týchto činností, s výnimkou predletovej prehliadky“. Súčasný stav údržby lietadiel sa vyznačuje niekoľkými kľúčovými trendmi [1].

Predikčná údržba sa zameriava na predpovedanie potenciálnych porúch a zlyhaní komponentov lietadla pred ich skutočným výskytom. To umožňuje včasnú a preventívnu údržbu, ktorá znižuje náklady a zvyšuje bezpečnosť prevádzky. Predikčná údržba sa opiera o rôzne technológie, ako sú analýza dát, strojové učenie a senzory.

Prichádzame do styku s pojmom digitalizácia údržby. Procesy údržby sa stále viac digitalizujú. To zahŕňa používanie digitálnych nástrojov na plánovanie a riadenie údržby, ako aj na zhromažďovanie a analýzu údajov o údržbe. Digitalizácia údržby umožňuje zefektívnenie procesov, zlepšenie sledovania a zníženie rizika chýb.

Kladie sa stále zvýšený dôraz na údržbu založenú na stave. Údržba založená na stave sa zameriava na údržbu komponentov lietadla na základe ich aktuálneho stavu, a nie na základe pevne stanovených intervalov. CBM umožňuje optimalizáciu údržby a predĺženie životnosti komponentov [1] [2].

Letecký priemysel je globálny a údržba lietadiel sa taktiež vykonáva na globálnej úrovni. To prináša rôzne výzvy, ako sú rozdiely v reguláciách a jazykoch. Letecké spoločnosti čelia neustálemu tlaku na znížovanie nákladov. To ovplyvňuje aj oblasť údržby lietadiel, kde sa hľadajú rôzne možnosti na zefektívnenie procesov a zníženie nákladov.

Okrem týchto trendov je dôležité spomenúť aj niektoré špecifické oblasti údržby lietadiel, ktoré sú v súčasnosti predmetom intenzívneho vývoja. Kompozitné materiály sa v leteckom priemysle používajú stále viac. Tieto materiály si však vyžadujú špecifické požiadavky na údržbu. Ďalšie sú bezpilotné lietadlá (UAV) sa stávajú čoraz bežnejšími a ich údržba sa stáva dôležitou oblasťou. A v neposlednom rade kybernetická bezpečnosť je v leteckom priemysle stále dôležitejšou otázkou a údržba lietadiel musí zohľadňovať aj túto oblasť [3].

Letecký priemysel čelí neustálemu vývoju a inováciám, a to sa týka aj oblasti výcviku mechanikov. Tradičné metódy výcviku, ktoré sa spoliehali na učebnice a fyzické simulátory, už nestačia držať krok s rastúcimi požiadavkami na moderné lietadlá. Virtuálna realita (VR) sa vynára ako revolučná technológia, ktorá má potenciál zásadne zmeniť spôsob, akým sa leteckí mechanici učia a trénujú.

VR umožňuje mechanikom ponoriť sa do interaktívnych prostredí, ktoré napodobňujú reálne lietadlá a ich komponenty. Vďaka tomu sa môžu učiť a cvičiť v bezpečnom a realistickom prostredí bez rizika poškodenia drahého vybavenia alebo ohrozenia seba samých či iných.

Kľúčovou výhodou VR výcviku je jeho schopnosť vytvárať vysoko pohlcujúce prostredia. Väčšia miera pohlcovania zvyšuje mieru zapamätania a keďže sa študenti môžu precvičovať svoje

zručnosti toľkokrát, koľkokrát potrebujú, vedomosti sa stávajú súčasťou ich svalovej pamäte.

Začiatočníci sú najviac náchylní k chybám, preto potrebujú bezpečné prostredie na precvičovanie svojich zručností, kým si v nich nezískajú sebavedomie. VR výcvik presne toto ponúka. Takto sa nezaškolený letecký mechanik nemôže zraniť, ani poškodiť 8-miliónový motor lietadla.

Elektronické tablety sa stali neoddeliteľnou súčasťou mnohých aspektov moderného života a ich využitie v údržbe lietadiel nie je výnimkou. Tieto zariadenia priniesli značné zlepšenie oproti tradičným papierovým manuálom a technickým listom, ponúkajúc mechanikom mobilitu, presnosť, efektivitu a zvýšenú bezpečnosť.

Mechanici už nie sú viazaní na pracovný stôl alebo kanceláriu, aby mali prístup k informáciám o údržbe. Môžu si zobraziť manuály, kontroly a postupy priamo na tablete, nech už sú kdekoľvek v lietadle. Práve to zvyšuje mobilitu zamestnancov, ktorá je jedným z kľúčových prvkov pri údržbe lietadiel. Digitálne informácie sa menej ľahko pokazia alebo stratia ako papierové dokumenty. To pomáha znížiť riziko chýb a zabezpečiť, aby mechanici vždy pracovali s najnovšími informáciami. Tablety umožňujú mechanikom ľahko vyhľadať informácie, ktoré potrebujú, a rýchlo prechádzať medzi rôznymi dokumentmi, čoho následkom bude skrátený čas potrebný na údržbu a udržať lietadlá v prevádzke. Tablety sa taktiež dajú použiť na zaznamenávanie údajov o údržbe a na sledovanie histórie údržby lietadla. To môže pomôcť identifikovať a vyriešiť potenciálne problémy skôr, ako sa stanú vážnymi.

Autonómne UAV a robotické systémy dokážu vykonávať úlohy údržby rýchlejšie a s väčšou presnosťou ako ľudskí pracovníci. Dokážu pracovať nepretržite a bez potreby prestávok, čím sa skrátuje čas potrebný na údržbu lietadla. UAV a robotické systémy dokážu vykonávať úlohy údržby, ktoré sú pre ľudí príliš nebezpečné alebo náročné. Môžu pracovať v kontaminovaných alebo nebezpečných prostrediach, čím sa minimalizuje riziko zranenia pracovníkov. Roboty dokážu vykonávať úlohy údržby s vysokou mierou presnosti a konzistencie. To môže pomôcť predchádzať chybám a zabezpečiť, aby lietadlá boli v špičkovom stave. Implementácia UAV a robotiky v údržbe lietadiel môže viesť k zníženiu nákladov na prácu a materiály. Roboty dokážu vykonávať úlohy s väčšou presnosťou, čím sa minimalizuje potreba opráv a údržby. Taktiež UAV a robotické systémy dokážu vykonávať údržbu lietadiel rýchlejšie a efektívnejšie, čím sa skrátuje čas, ktorý lietadlá trávia mimo prevádzky. To môže viesť k lepšej dostupnosti lietadiel pre prevádzku a zvýšeniu príjmov leteckých spoločností.

V roku 2019 spoločnosť Airbus oznámila uvedenie novej inšpekčnej technológie. Airbus Advanced Inspection Drone bude obsahovať vizuálnu kameru, laserový detektor prekážok a softvér na plánovanie letu a analýzu inšpekcie. Tento nový systém má potenciál skrátiť bežný inšpekčný proces, ktorý sa štandardne vykonáva pomocou teleskopickéj plošiny, z 24 hodín na 3 hodiny [4].

UAV využité na inšpekciu povrchu lietadla sa v posledných rokoch stali veľmi cennými pomocníkmi. Počas rozsiahlych kontrolných údržbárskych cyklov (A, B, C a D prehliadky) sa lietadlo podrobuje vizuálnej kontrole vrátane celého povrchu trupu až po špičku vertikálneho stabilizátora. Táto kontrola je, ako si viete predstaviť, mimoriadne časovo náročná, najmä na

ťažkých prúdových lietadlách, ktoré majú tisíce štvorcových stôp povrchu. Pri tejto vizuálnej prehliadke tak musia technici fyzicky preskúmať celý povrch lietadla, pričom je šanca že nejakú podstatnú časť lietadla vynechajú alebo zabudnú skontrolovať, nazýva sa to ľudská chyba. A tak prichádzajú na scénu UAV, ktorého riadiaci je schopný naprogramovať trasu inšpekcie po lietadle. Tak sa zabezpečí, že každý centimeter povrchu bude skontrolovaný, čo je pri manuálnej kontrole ťažko dosiahnuteľné. Navyše, celý záznam z inšpekcie umožňuje oveľa väčšiu presnosť pri určovaní, kedy mohlo dôjsť k poškodeniu, keďže má človek k dispozícii presný dátum a čas každej inšpekcie vykonanej UAV.

Kolízie lietadiel na zemi sú vážnym problémom, ktorý môže viesť k značným škodám na majetku, zraneniam alebo dokonca úmrtiam. Na zníženie rizika týchto kolízií sa používajú rôzne systémy, ako napríklad radarové systémy a svetelná signalizácia. Tieto systémy však majú svoje obmedzenia a stále dochádza k nehodám. Umelá inteligencia (AI) má potenciál tieto systémy zlepšiť a urobiť pohyb lietadiel na zemi bezpečnejším, najmä v kontexte očakávaného nárastu hustoty prevádzky na letiskách.

Preto dávam do povedomia návrh na nový protikolízny systém lietadiel, ktorý využíva AI na detekciu a predchádzaniu kolíziám pri pohybe na zemi. Systém by zhrmažďoval údaje z rôznych zdrojov, ako napríklad:

Radary, kamery, transpondéry alebo odpovedače, GPS,

Senzory lietadiel umiestnené na príslušných kritických a koncových miestach lietadla (konce krídel, nos lietadla, špičky horizontálnych a vertikálnych stabilizátorov atď.), kde je najpravdepodobnejšie riziko nárazu pri pohybe lietadla na zemi.

AI by analyzovala zhromaždené údaje v reálnom čase a identifikovala potenciálne hrozby kolízie pomocou týchto údajov by predpovedala trajektórie lietadiel a určovala, či existuje riziko kolízie.

Ak by AI zistila riziko kolízie, systém by varoval pilotov a dispečerov a navrhol im vyhýbacie manévry. V prípade potreby by systém mohol automaticky prevziať riadenie lietadla a vykonať vyhýbacie manévry.

Systém by využíval AI na predpovedanie hustoty prevádzky na letisku v danom čase a prispôboval by tomu svoje stratégie predchádzania kolíziám. To by bolo obzvlášť užitočné v časoch špičky alebo pri mimoriadnych udalostiach, ktoré by mohli viesť k zvýšenému riziku kolízie.

Tento systém by mal oproti súčasným systémom protikolíznej ochrany lietadiel viacero výhod.

AI by bola schopná presnejšie detegovať a predpovedať hrozby kolízie, pretože by mala prístup k väčšiemu množstvu dát a dokázala by ich analyzovať komplexnejšie a taktiež by bola schopná reagovať na hrozby kolízie rýchlejšie ako ľudia, čím by sa znížil čas na vykonanie vyhýbacích manévrov

4. Záver

Letecký priemysel prechádza neustálou transformáciou, pričom v popredí stoja inovatívne technológie a nástroje, ktoré zefektívňujú a modernizujú procesy údržby lietadiel. Táto diplomová práca sa venovala prehľadu a analýze rôznych

inovatívnych riešení, ktoré posúvajú údržbu lietadiel na novú úroveň.

Za všetkými týmito inováciami stojí spoločný záujem o bezpečnosť a čo najmenej prerušovanú prevádzku lietadiel, pričom sa kladie dôraz na čo najnižšie potrebné investície vynaložené na údržbu. Využívanie UAV pri údržbe, sa javí v dnešnej dobe ako jedna z najčastejšie aplikovaných inovácií 21. storočia.

3D tlač využívaná pri výrobe komponentov lietadiel je novým míľnikom, ktorý v budúcnosti určite nahradí množstvo súčasných komponentov a zabezpečí náhradu dlhodobou používaných dielov, ktoré budú dosahovať vyššiu životnosť, pričom ich výroba sa dokáže realizovať v relatívne krátkom čase, no nie pre sériovú výrobu. Zvýšením životnosti jednotlivých komponentov lietadla zabezpečíme aj lepšiu environmentálnu politiku v leteckom priemysle.

Taktiež medzi míľniky prevádzkovania údržby sa radia tréningy v simulačnom prostredí a opravy na diaľku, čo sa mohlo javiť ešte pred niekoľko desiatkami rokov ako veľká neznáma. Dnes to posúva mladú generáciu vpred, a to z môjho pohľadu práve tým, že v relatívne krátkom čase, pri dostupnom simulačnom výcviku môžeme nadobudnúť skúsenosti, aké kedysi získavali leteckí inžinieri počas dlhých rokov. Opakovaním jednotlivých úkonov v umelom prostredí si vštiepime tieto postupy a môžeme sa stať vysokokvalifikovaní inžinieri v kratšom časovom horizonte ako to bolo doposiaľ.

S prínosom inovácii musíme však myslieť na elimináciu rizík, ktoré sa s nimi spájajú a to bezpochyby investovať nemalé prostriedky proti zneužitiu a kybernetickým útokom, ktoré sú žiaľ súčasťou tejto modernej doby spájanej s AI v každej sfére života.

Referencie

- [1] Mr. Shannon P. Ackert (2010). Basics of Aircraft Maintenance Programs for Financiers. 25.3. 2024 Dostupné na : http://aircraftmonitor.com/uploads/1/5/9/9/15993320/basics_of_aircraft_maintenance_programs_for_financiers_v1.pdf
- [2] Cranfield University.(2020). Aircraft Maintenance 25.3. 2024 Dostupné na: <https://skybrary.aero/articles/aircraft-maintenance>
- [3] B.S.Kukreja, Johan Löfström (2009–2024). "Composites in the Aircraft Industry". Appropedia. Retrieved 27.3.2024. Dostupné na: https://www.appropedia.org/Composites_in_the_Aircraft_Industry
- [4] Sarah Jones(2020). The Evolution of Aviation Maintenance. 27.3. 2024 Dostupné na: <https://nci.edu/2020/12/09/the-evolution-of-aviation-maintenance/>
- [5] Federal Aviation Administration (FAA)(2007). Dostupné na: https://www.faa.gov/documentLibrary/media/Advisory_Circular/AC_43-12A_CHG_1.pdf
- [6] Preventive and corrective maintenance in the aeronautical field (2022). 1.4.2024 Dostupné na:

<https://www.aviation-matrix.com/preventive-and-corrective-maintenance-in-the-aeronautical-field/>

- [7] University of Portland (2015) Fail-Safe and Safe-Life Designs Retrieved 1.4.2024