



MONITORING OF TECHNICAL STATE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES

Samuel Lagin
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Branislav Kandra
Air Transport Department
University of Žilina
Univerzitná 8215/1
010 26 Žilina

Abstract

The aim of this work is to study current possibilities of monitoring the technical state of the unmanned aircraft from the most basic activities to the more advanced aircraft systems. Partial goal is to create a simple general maintenance checklist for cases when the manufacturer does not publish any maintenance procedures, or the manufacturer is the owner and pilot of the aircraft, in case of DIY aircraft. Theoretical part is devoted to description of most common components of current UAVs and their possible failures and stating current possibilities for maintaining awareness of the technical state of the aircraft prior to, during and after the execution of a flight. Second part will state how to extract the flightlogs and what tools can be used to analyze them. The result of this work is creating general maintenance checklists as well as stating the information about the process of modifying this checklist for the UAV in question. Mentioned checklists will be created for pre-flight, post-flight and regular maintenance check.

Keywords

UAV, DIY, maintenance, checklist, flightlog

1. ÚVOD

V dnešnej dobe zažíva civilný sektor UAV masívny rozmach. Toto je spôsobené hlavne nízkymi nákladmi v porovnaní s lietadlami klasickými, ktoré majú pilota na palube. Ďalšími faktormi sú nízky dopad na životné prostredie, nižšia miera škody v prípade nehody atď. Dôležitým faktom je, že v dnešnej dobe pilot diaľkovo riadeného lietadla vďaka pokročilým systémom pomoci pri nemusí mať také technické vedomosti ako piloti týchto prostriedkov v minulosti. Toto môže viesť k pilotovu neschopnosť rozoznať základné technické nedostatky daného stroja, čo často vedie k zbytočným nehodám ktorým by sa dalo jednoducho predísť. Túto skutočnosť ešte zhoršuje fakt, že sa výrobcom z ekonomického hľadiska neoplatí publikovať manuály pre monitorovanie a udržiavanie technického stavu daných lietadiel. Napríklad ak sa jedná o finančne nákladnejšie UAV, tak výrobca publikuje pomerne rozsiahle postupy technických kontrol jednotlivých komponentov daného UAV. Takto je to napríklad v prípade UAV od firmy DJI konkrétne model Matrice 300 RTK. V tomto prípade sa jedná o model značne finančne nákladný na obstaranie, ale tu už firma DJI publikuje striktné postupy a intervaly jednotlivých prehliadok na monitorovanie technického stavu a zníženie rizika nehody.

2. SÚČASNÝ STAV

V Úvode článku si najskôr ujasníme pojmy nakoľko veľa ľudí dnes používa nesprávne termíny a neskôr popíšeme jednotlivé časti daných lietadiel a zdokumentujeme metódy monitorovania technického stavu lietadiel pomocou rôznych aplikácií. Budeme sa snažiť písať o UAV všeobecne, ale niektoré časti budú orientované priamo lietadlám od firmy DJI, nakoľko flotila Katedry leteckej dopravy spočíva hlavne z týchto modelov.

2.1. Terminológia

V tejto časti uvádzame naše dôvody, prečo by sa mal používať výlučne pojem UAV, prípadne diaľkovo riadený model lietadla. Zjednodušenie pojmu UAV ako bezpilotný prostriedok nám príde zavádzajúce, pretože narozdiel od pojmu Unmanned Aerial Vehicle vynecháva pilota ako hlavný prvok riadenia lietadla. Problémom tohto je, že dané lietadlá pilota majú, len sa nenachádzajú na palube ale na zemi.

2.2. Komponenty UAV

Monitorovanie technického stavu nie je možné bez toho aby sme poznali jednotlivé časti, z ktorých sa dané lietadlo skladá a ktorých technický stav chceme monitorovať, či už za účelom predĺženia ich životnosti alebo za účelom zvýšenia bezpečnosti vykonania letu. V tejto časti sa budeme venovať jednotlivým komponentom a prípadným závadám na nich. Medzi hlavné systémy RC lietadiel patria: batérie, motory a ich regulátory otáčok, vrtule, servomotory ovládacích plôch, prijímače rádiového signálu, kamera a jej stabilizátor, osvetlenie lietadla prípadne letový počítač alebo stabilizácia modelu a v neposlednom rade netreba zabúdať na kontrolu kabeláže a prístávacieho zariadenia. Starostlivosť o niektoré je jednoduchá a spočíva hlavne v počítačom nastavení, kalibrácii a kontrole ich funkcie. Starostlivosť o iné však priamo ovplyvňuje ich životnosť či dokonca ich vplyv na životnosť iných komponentov [1].

2.3. Sledovanie letových dát zo zapisovačov

V tejto kapitole sa budeme venovať sťahovaniu a sledovaniu letových dát z našich modelov lietadiel. Budeme sa venovať hlavne systému od firmy DJI pretože v dobe písania tejto práce

sú všetky lietadlá vo flotile katedry leteckej dopravy s funkciou zaznamenávania letových dát od tejto firmy. Na začiatok je potrebné vedieť aké typy súborov naše lietadlá generujú a kam ich ukladajú. Úložiská sú dve a to interné úložisko na palube daného lietadla a úložisko aplikácie pomocou ktorej zobrazujeme aktuálne video a konfiguráciu lietadla, zvyčajne na našom smartfóne, ktorý používame na lietanie, alebo v ovládači modelu [1],[2].

3. MONITOROVANIE TECHNICKÉHO STAVU

V dnešnej dobe môžeme monitorovanie technického stavu v leteckom modelárstve rozdeliť na pár hlavných častí a to sledovanie za letu a postupy a kontroly na zemi. Monitorovanie stavu lietadla za letu je dosiahnuté buď telemetrickými údajmi alebo najjednoduchšie len sledovaním pohybov a počúvaním zvukov ktoré náš model vydáva, na tento účel je dobré mať pilota s precíznym okom a uchom. Toto je najrýchlejší spôsob spozorovanie nežiadúcich vibrácií a chýb. Jedným z úplne najjednoduchších systémov je klasický „strážnik“ batérii. Je to zariadenie ktoré sleduje napätie na jednotlivých článkoch batérie a pri dosiahnutí prednastavenej hodnoty vysielá hlasný akustický signál, ktorý dá znamenie pilotovi, že je čas ukončiť let. Medzi zložitejšie systémy patria rôzne typy telemetrických systémov. Poznáme dva hlavné typy. Prvým je telemetria zabudovaná do systému ovládania pomocou rádiového spojenia kedy sa jedná o systém ktorý sleduje nejaký dôležitý parameter a vysielá ho pomocou rádiového spojenia do vysielача. Vysielач potom buď zobrazí danú hodnotu na obrazovke alebo v lepšom prípade spustí zvukový signál v prípade, že je táto hodnota kritická. Zvukový signál je lepší nakoľko nevyžaduje spustiť zrak z nášho modelu čo by mohlo ľahko prispieť ku strate orientácie. Druhým je externý telemetrický systém, ktorý pozostáva z vysielача napojeného na letový počítač, ktorý zhromažďuje parametre a posúva ich vysielачu ktorý ich pomocou samostatného rádiového spojenia posiela do pozemnej jednotky, ktorá dáta prijme a zobrazí. Špičkové systémy dokážu vysielat všetky zaznamenávané údaje a zobrazujú ich na obrazovke počítačov technikov ktorý ich vedia analyzovať v reálnom čase, podobné systémy sa používajú vo vesmírnych misiách a tiež napríklad v pretekárskych autách atď [3].

Táto časť je venovaná činnostiam spojeným s monitorovaním a udržiavaním technického stavu UAV. Keď chceme monitorovať technický stav, tak musíme určiť metódy a postupy pre nasledovné činnosti: sledovanie letovej doby, predletová prehliadka, sledovanie technického stavu za letu, poletová kontrola a prípadne pravidelné prehliadky. Niektoré z nich môžu pozostávať z celkom jednoduchých krokov a iné bývajú celkom dôkladné. Postupy kontrol na zemi v prípade drahších modelov publikuje výrobca pre každý príslušný model. Býva tu definovaný postup ako predletovej prehliadky tak poletovej prehliadky a interval a postup pravidelných prehliadok. Problém tu nastáva v tom, že toto nerobí každý výrobca pre každý svoj model. V prípade, že výrobca nevydáva danú príručku pre náš model, bývajú niektoré základné informácie ohľadne údržby v prevádzkovej príručke. V prípade, že ide o model navrhovaný a stavaný samotným modelárom je dôležité aby sa daný človek zamyslel nad spôsobom vykonávania prehliadok pred letom po lete a prípadne aj pravidelných prehliadok. Samostatná pozornosť bude venovaná batériám, nakoľko sú najkritickejším prvkom ohľadne údržby a bezpečnosti vykonania letu. V závere budú dané prehliadky zhrnuté do tabuliek [4].

3.1. Sledovanie letovej doby

V tejto časti sa venujeme dôležitosti sledovania letovej doby ako aj rôznym spôsobom akými sme v dnešnej dobe schopný túto úlohu splniť. Dôležitosť sledovania letovej doby rastie hlavne v prípade, že nám výrobca modelu zadá postupy pravidelných prehliadok prípadne sa prevádzkovateľ modelu rozhodne si dané postupy vytvoriť. Potreba tohto rastie s množstvom prevádzky daného modelu. Ak sa pozrieme ako sa daná problematika rieši u klasického letectva, tak môžeme vidieť, že každé lietadlo a každý pilot má svoj zápisník letovej doby pomocou ktorých sledujeme letovú dobu a ďalšie dôležité skutočnosti ako sú napríklad udalosti ktoré sa stali počas letu. Nie je nutné aby sme u modelov lietadiel alebo letúnov riešili danú problematiku až tak obsiahlo ako v klasickom letectve. Parametre ktoré je dôležité sledovať u modelov sú: množstvo letov, letová doba, použitá batéria, meno zodpovedného pilota a miesto na zaznamenávanie zvláštnych udalostí. V prípade že daný let prebehol bez tzv. bez závad môžeme letovú dobu zlučovať do jedného celku v daný deň. V špeciálnom prípade že máme zapisovač letových dát a stala sa nejaká dôležitá letová udalosť treba daný let poznačiť aj časom letu aby sme neskôr vedeli prezrieť zaznamenané údaje a diagnostikovať problém. Letové udalosti môžu byť rôzne od nehôd až po časté výpadky signálu alebo akýkoľvek zvláštny pohyb alebo zvuk z lietadla. Spôsoby sledovania letovej doby môžu byť rôzne a závisia od rozhodnutia prevádzkovateľa daného modelu napríklad akýkoľvek zošit v kufríku daného modelu, súbor online ktorý je zdieľaný medzi pilotmi a osobami ktoré sú zodpovedné za údržbu alebo môžeme používať aplikácie ako je Airdata a ďalšie, ktoré nám budú zaznamenávať dané skutočnosti. Je dôležité spomenúť, že za niektoré spôsoby od nás budú vyžadovať viac práce ako iné ale na druhej strane za iné viac automatizované si bude musieť prevádzkovateľ platiť [4],[5].

3.2. Predletová prehliadka a činnosť za letu

V tejto časti sa venujeme kontrolným úkonom pred letom a činnosti pilota za letu. Podobne ako u klasického letectva je aj pri UAV potrebné sa pred vykonaním letu uistiť, že je naše lietadlo pripravené na let. Správna prehliadka pred letom spočíva z pár jednoduchých krokov. Postupy záležia od rozhodnutia prevádzkovateľa modelu a hlavne od konfigurácie lietadla, čiže faktu či je to model s pevným krídlom tzv. letún alebo model s rotačnými nosnými plochami tzv. multikoptéra alebo helikoptéra. Dôležité kroky sú: vizuálna kontrola poškodenia modelu, kontrola upevnenia vrtúľ na motory, kontrola výchyliek, kontrola ťahu u modelov letúnov, kontrola polohy ťažiska u modelov letúnov, kontrola nabitia pripojenej batérie lietadla ako aj vysielача, prípadne na začiatku letu krátke vznášanie na mieste v prípade, že sa jedná o model s rotačnými nosnými plochami. Pre komplexnejšie modely pribúdajú ďalšie kroky ako: kalibrácia senzorov, nastavenie maximálnej výšky letu poprípade maximálnej vzdialenosti od miesta vzletu, nastavenie polohy pre funkciu návrat na miesto vzletu a kontrola aktualizácií firmwaru modelu [6],[7],[8].

3.3. Prehliadka po lete a uskladnenie

Táto časť je venovaná činnostiam potrebným na správne uskladnenie lietadla a úkonom po vykonaní letu. Po pristáťí modelu nastáva čas na po letovú prehliadku. Aj v tomto prípade si skontrolujeme manuál kvôli výrobcom odporúčaným krokom pre po letovú kontrolu. Jedným z prvých krokov po pristáťí

modelu je odpojenie batérie, ktorú následne necháme vychladnúť a skontrolujeme stav napätia jednotlivých článkov batérie, jednotlivé články by mali mať rovnaké napätie bez veľkých odchýlok, čiže by mali byť vyvážené. Ak by odchýlka po vychladnutí nadobúdala viac ako 0,1 V opakovane, mohlo by to indikovať starnutie jednotlivých článkov a treba dbať zvýšenú pozornosť pri nabíjaní a používaní danej batérie. Počas chladnutia batérie sa môžeme venovať vypnutiu vysielача a kontrole teploty motorov a ich regulátorov, samozrejme v prípade, že nám konštrukcia dovoľuje tieto komponenty kontrolovať. Následne budeme pokračovať vizuálnou kontrolou poškodenia konštrukcie modelu a zápisom údajov o lete do zápisníka, údaje niektoré modely zapisujú automaticky a v tomto prípade môžeme tento krok vynechať alebo vykonať ho až „doma“. Poslednými krokmi na mieste letu je vyčistenie modelu samotného a zabezpečenie modelu na cestu „domov“. Je dôležité nechať model pred uskladnením vyschnúť ak sme po lete zistili, že je jeho povrch mokry. Po príchode ale prehliadka pokračuje nabitím batérií a sťahovaním a analýzou dát v prípade, že sa stala nejaká neočakávaná udalosť počas letu. Batérie nabíjame podľa toho či v blízkej dobe plánujeme prevádzku alebo nie. Ak áno tak nabíjame batérie hneď do plného stavu nabitia. Ak najbližšia prevádzka plánovaná o viac ako 3 dni nabijeme batérie len na cca 3,8 V na článok, čo je napätie na uskladnenie batérií [9],[10].

3.4. Pravidelná prehliadka

Táto časť je venovaná pravidelnej prehliadke. Poslednou z technických kontrol je pravidelná kontrola. Jej účelom je objaviť a opraviť závady, ktoré by klasická prehliadka nedokázala spozorovať alebo závady, ktoré vyžadujú špeciálne nástroje k ich oprave. Pravidelnú kontrolu treba vykonávať podľa postupov publikovaných výrobcom nášho modelu. V prípade, že výrobca dané postupy nepublikuje, mal by sa prevádzkovateľ zamyslieť nad krokmi po vykonaní ktorých vieme oddialiť najbežnejšie problémy. Samozrejme ďalej zmienaná prehliadka je všeobecná a nemá vymeniť výrobcom odporúčanú kontrolu ale ju prípadne len doplniť. Pri tejto prehliadke je dôležité riešiť postup ale aj interval, ktorý určuje ako často budeme danú prehliadku vykonávať. Interval ktorý sme zvolili je 200 letov 50 letových hodín alebo 6 mesiacov [11].

3.5. Starostlivosť o batérie

Ďalšou veľmi dôležitou časťou sú samotné batérie. Ako už bolo v tejto práci zmienené, na pohon UAV sa najčastejšie používajú Lítium-polymérové batérie, ktoré majú svoje výhody ale aj nevýhody. Pri práci s nimi postupujeme podľa istých postupov. To ale neznamená, že môžeme vynechať čítanie postupov publikovaných výrobcom danej batérie. Tento krok je dôležitý pretože niektorí výrobcovia udávajú, že ich batérie je napríklad nutné vybiť a nabíjať počas doby dlhšieho skladovania napríklad každé 3 mesiace. Toto je špeciálne prípad batérií od formy DJI. Ak sa jedná o inteligentné batérie je nutné skontrolovať príručku kvôli ďalším postupom ako napríklad aktualizácia firmvéru. Ak naše lietadlo používa konfiguráciu s dvoma batériami je dôležité vytvoriť dvojicu a používať danú dvojicu ako by to bola jedna batéria aby sa zabránilo použitiu jednej novej a druhej starej batérie, čo by mohlo spôsobiť katastrofu. V prípade že je treba batérie transportovať, napríklad dopravným lietadlom, je dôležité ich prepravovať vybité, pretože tak znížime riziko spontánneho požiaru. Ďalej je

potrebné ich prepravovať v špeciálnom vrecku na li-po batérie a v príručnej batožine, nakoľko v prípade požiaru je nutné sa k nim dostať a tento požiar ideálne v počiatočnej fáze zneškodniť [12].

4. ZÁVER

Monitorovanie a udržiavanie technického stavu je celkom komplexný súbor činností. Vo viacerých aspektoch sa ukazuje aplikácia AirdataUAV ako vhodný pomocník a preto ju odporúčame používať hlavne v prípade, ak sa jedná o model podporovaný danou aplikáciou.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported under the project of Operational Programme Integrated Infrastructure: "Research and development of contactless methods for obtaining geospatial data for forest monitoring to improve forest management and enhance forest protection", ITMS code 313011V465. The project is co-funding by European Regional Development Fund.

REFERENCIE

- [1] <https://dictionary.cambridge.org/dictionary/english/dron> e. [Cit. 7 apríl 2022].
- [2] ICAO, „ICAO Cir 328, Unmanned Aircraft Systems (UAS),“ 2011.[Online].Available: https://www.icao.int/meetings/uas/documents/circular%20328_en.pdf. [Cit. apríl 2022].
- [3] KiwiKvads, „LiPo Battery C-Ratings – What do they actually mean?“, KIWIKVADS, 2. Február 2020. [Online]. Available:
- [4] <https://www.kiwiquads.co.nz/lipo-battery-c-ratings-what-do-they-actuallymean/>. [Cit. 7. apríl 2022].
- [5] Dongguan Large Electronics, „Large.net,“ Dongguan Large Electronics, [Online]. Available: <https://www.large.net/news/8ju43nv.html>. [Cit. 7 apríl 2022].
- [6] J. Farrar, „The Drone Girl,“ 15 jún 2021. [Online]. Available: <https://www.thedronegirl.com/2015/02/07/lipo-battery/>. [Cit. 7 apríl 2022].
- [7] ArduPilot Dev Team, „ardupilot.org,“ ARDUPILOT, [Online]. Available: <https://ardupilot.org/plane/docs/automatic-landing.html>. [Cit. 7 apríl 2022].
- [8] DJI, „dji.com,“ DJI, [Online]. Available: <https://www.dji.com/sk/service/djicare-refresh/info>. [Cit. 7 apríl 2022].
- [9] D. Joyce, „youtube,“ [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=AfS7gXmEDno>. [Cit. 7 apríl 2022].
- [10] „datfile.net,“ [Online]. Available: <https://datfile.net/>. [Cit. 7 apríl 2022].
- [11] Airdata UAV, „airdata.com,“ [Online]. Available: <https://airdata.com/features#tab-panel-0>. [Cit. 7 apríl 2022].

- [12] Process Street, „process.st,“ [Online]. Available: <https://www.process.st/checklist/drone-pre-flight-checklist/>. [Cit. 7 apríl 2022].
- [13] DJI, „dji.com,“ 28 Február 2015. [Online]. Available: https://dl.djicdn.com/downloads/inspire_1/en/Inspire_1_Maintenance_Manual_V1.0_en.pdf. [Cit. 7 apríl 2022].
- [14] ČERŇAN, J., HOCKO, M. 2020. Turbínový motor I. 1. vyd. Žilina : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2020. 335 s. ISBN 978-80-554-1673-1.
- [15] BUGAJ, M. 2020. Aeromechanics 1: fundamentals of aerodynamics. 1st ed. - Žilina : University of Žilina, 2020. 193 s. ISBN 978-80-554-1675-5.
- [16] NOVÁK, A., NOVÁK SEDLÁČKOVÁ, A., JANOVEC, M. 2020. Komunikačné systémy v letectve. 1. vyd. - V Žiline : Žilinská univerzita v Žiline, EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2020.
- [17] NOVÁK, A., TOPOĽČANY, R., BRACINÍK, T. 2009. Výcvik leteckých posádok s využitím nových technológií. Žilinská univerzita, Fakulta prevádzky a ekonomiky dopravy a spojov, 2009. - 94 s. ISBN 978-80-554-0108-9.
- [18] PECHO, P., HRUZ, M., SKVAREKOVA, I., AZALTOVIC, V. 2020. Optimization of Persons Localization Using a Thermal Imaging Scanner Attached to UAV. NTinAD 2020 - New Trends in Aviation Development 2020 - 15th International Scientific Conference, Proceedings, 2020, pp. 192–196, 9379095. ISBN 978-172817325-2.
- [19] Ažaltovic, V., Škvareková, I., Pecho, P., Kandra, B. 2020. The correctness and reaction time of piloting the unmanned aerial vehicle. Transportation Research Procedia, 2020, 51, pp. 342–348. ISSN 23521457.
- [20] ROSTAS, J., KOVACIKOVA, M., KANDERA, B. 2021. Use of a simulator for practical training of pilots of unmanned aerial vehicles in the Slovak Republic. ICETA 2021 - 19th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, Proceedings, 2021, pp. 313–319. ISBN 978-166542102-7.
- [21] Novák, A., Sedláčková, A.N., Bugaj, M., Kandra, B., Lusiak, T. 2020. Use of unmanned aerial vehicles in aircraft maintenance. Transportation Research Procedia, 2020, 51, pp. 160–170. ISSN 23521457.
- [22] Novák, A., Novák Sedlacková, A., Kandra, B., Lusiak, T. 2020. Flight inspection with unmanned aircraft. Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2020, 2020-September, pp. 589–593. ISSN 1822296X.
- [23] Škultéty, F., Cernan, J., Sisák, T. 2020. VTOL design for fixed wing UAVs. Transport Means - Proceedings of the International Conference, 2020, 2020-September, pp. 985–990. ISSN 1822296X.