

Protizrážkové systémy na palubách civilných lietadiel (1)

Luděk Beňo, Andrej Novák, Milan Bačo

Úvod

Na začiatku druhej storočnice histórie letúnov, doteraz najrozšírenejších lietadiel, je letecká doprava stále dynamicky sa rozvíjajúcim odvetvím. Keď sa v roku 1970 odlietalo v leteckej doprave približne 10 miliónov hodín, v roku 2000 to už bolo viac ako 30 miliónov hodín. Výkony v leteckej doprave pravidelne narastajú, a to aj napriek čiastočnému spomaleniu rastu zaznamenanom po teroristických útokoch z 11. septembra 2001. Podľa štatisticky sledovaných údajov sa v priebehu desiatich až pätnástich rokov výkony v leteckej doprave približne zdvojnásobia. S tým korešponduje generačný vývoj v oblasti lietadlovej techniky, kde tiež badať približne rovnaký cyklus v obmenách generácií dopravných letúnov.

Nielen ťažkých a veľkokapacitných letúnov je vo vzduchu viac a viac. Medzinárodná organizácia civilného letectva ICAO (International Civil Aviation Organisation) odhaduje, že v ktoromkoľvek okamihu je vo vzduchu na svete naraz viac ako 10 000 letúnov. Z toho viac ako polovica pripadá na všeobecné letectvo. S rastúcou ekonomikou a životnou úrovňou môžeme predpokladať zahustenie letovej prevádzky aj vďaka kategórii ľahkých letúnov, pričom obidve kategórie letúnov sa vďaka ich použitiu najčastejšie objavujú práve nad civilizovanými a husto obývanými miestami. Pristáť nakoniec musia aj tak na letiskách, kde sa vo veľkom počte a často v rovnakom čase stretávajú letúny rôznych hmotností s obchodnými alebo súkromnými zámermi. V blízkosti letísk a na letiskových prevádzkových plochách sa kapacita zdanlivo veľkorozmerného priestoru na prevádzku letúnov vyčerpáva.

Moderné generácie lietadiel vychádzajú z osvedčených, spoľahlivých a bezpečných konštrukčných koncepcií, potvrdených doterajšou prevádzkou. Hoci trend vo výkonoch permanentne stúpa, vývoj početnosti nehôd v civilnom letectve v období pokrytom celosvetovými štatistikami ICAO (od r. 1959) zaznamenal pokles nehôd registrovaných na 1 milión letov. Od 70-tych rokov zaznamenáme v priemere menej ako 5 nehôd na 1 milión letov. Letecká doprava si udržiava mimoriadne vysoký štandard bezpečnosti vďaka inteligentným systémom výstroja lietadiel. Pri rastúcom objeme letovej prevádzky sa potenciál možných incidentov a nehôd presúva na oblasť ľudských faktorov. Preťažený a stresovaný človek v leteckých systémoch je zdrojom rôznych chýb a omylov. Paluby dnešných generácií lietadiel, pozemné aj satelitné systémy tvoriace dohromady jeden komplex riadenia lietadla majú najväčšiu úlohu odbremeniť pilota a riadiaceho letovej prevádzky od ich enormnej záťaže v systéme riadenia. Mnohé procesy riadenia lietadla v týchto systémoch už prebiehajú automaticky. Dnešné systémy riadenia lietadla dospeli do generácie, ktorá nesie označenie FMS (Flight Management System). Zjednodušene povedané, je to plne automatický systém riadenia, ktorý je schopný viesť lietadlo podľa vopred naprogramovaných postupov, hodnotiť okamžitú situáciu a reagovať na aktuálne podmienky letu.

Nie nevyhnutný, ale predsa len pochopiteľný dôsledok takého zahustenia letovej prevádzky badať v rastúcom počte incidentov a nehôd označovaných ako potenciálne zblíženie, nebezpečné zblíženie alebo zrážka dvoch lietadiel. Jav, ktorý sme ešte v päťdesiatych rokoch minulého storočia nepoznali. Riadenie letovej prevádzky vykonávajú organizácie letových prevádzkových služieb, ktoré majú na tento účel zodpovedajúce technické zabezpečenie, čo predstavuje systém sledovania. Konečné rozhodovanie o vykonaní letu

je však vždy v rukách pilota. Pilot sa počas letu môže nachádzať tiež v priestoroch bez poskytovaných služieb riadenia. Pre bezpečnosť letov sú najvýznamnejšie palubné systémy.

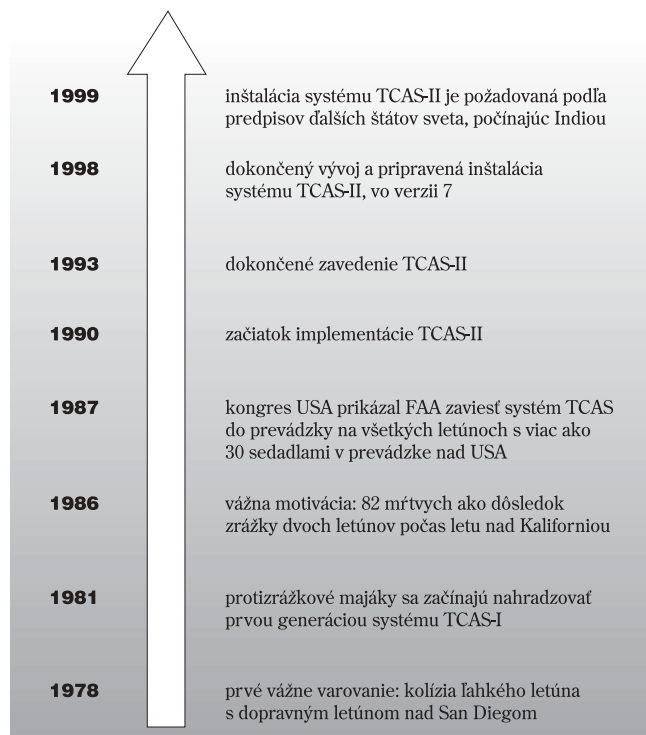
História

Palubné výstražné a protizrážkové systémy začali svoju históriu písať najprv na území USA. Významné medzníky tohto vývoja ukazuje diagram [4].

V USA systém označovaný ako TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) prechádzal zložitým vývojom a má už vyše dvadsaťročnú históriu. Takmer paralelne už od osemdesiatych rokov minulého storočia prebiehala v rámci ICAO štandardizácia palubného protizrážkového systému na úrovni formulovania unifikovaných požiadaviek na systém. ICAO označuje palubný protizrážkový systém ako ACAS (Airborne Collision Avoidance System). Technicky je systém špecifikovaný dokumentom ICAO Annex 2, použitie a inštalácia sú špecifikované v dokumentoch PANS-OPS a PANS-RAC. V novembri 1995 bol systém ACAS II uvedený v odporúčaní Annex 10. Takto označovaný systém teda korešponduje s požiadavkami ICAO a je vyvíjaný v rámci EÚ. Harmonizácia amerického systému TCAS II s požiadavkami na ACAS II je riešená v TCAS II, vo verzii 7.

Palubné protizrážkové systémy sa v zásade vyvíjali v troch generáciách:

- **ACAS I:** Systém, ktorý poskytuje informácie o prevádzke v danom priestore TA (Traffic Advisory), ale nedisponuje možnosťou spracovať odporúčanie na riešenie nebezpečenstva konfliktu RA (Resolution Advisory). Informácia o blízkosti inej prevádzky sa poskytuje pred možným zblížením (len veľmi približne asi 40 s od potenciálnej kolízie s iným lietadlom). Dnes



Obr.1 História systémov TCAS

už sa nepredpokladá jeho celoplošné zavedenie vzhľadom na neschopnosť poskytnúť pomocnú informáciu na riešenie konfliktu.

- **ACAS II:** Systém, ktorý ako doplnok k informácii o prevádzke v danom priestore TA, predkladá aj návrh na riešenie nebezpečnosti konfliktu RA vo vertikálnej rovine (návod na adekvátnu zmenu výšky asi 25 s pred potenciálnym zblížením). Systém je kompatibilný s verziou 7 TCAS II. Zavedený plne do prevádzky uľahčuje riadenie a zvyšuje bezpečnosť letov v danom priestore, najmä tam, kde sú zavedené znížené vertikálne rozstupy medzi lietadlami RVSM (Reduced Vertical Separation Minimum). Priestory RVSM majú cieľ znížiť predpísané vertikálne rozstupy lietadiel letiacich vo vyšších letových hladinách ako FL 290 z pôvodných 2000 stôp na 1000 stôp.
- **ACAS III:** Systém, ktorý ako doplnok k informácii o prevádzke TA, predkladá aj návrh na riešenie konfliktu RA vo vertikálnej (návod na zmenu výšky) aj v horizontálnej rovine (návod na vyhýbací manéver). Systém zatiaľ nie je vyvíjaný [2].

Technický opis systému ACAS II

Hlavná jednotka ACAS, ktorá zabezpečuje sledovanie vzdušného priestoru v oblasti okolo lietadla, informáciu o prevádzke TA, koordináciu medzi spolupracujúcimi zariadeniami ACAS ostatných lietadiel a všetky výpočty, potrebné na zobrazenie situácie. Zároveň na základe získaných údajov a koordináciou s ďalšími zariadeniami ACAS dáva návrh riešenia konfliktu RA. Táto jednotka obsahuje aj vysielač a prijímač, pričom vysielač vysiela zadania na frekvencii 1030 MHz a prijímač prijíma odpovede na frekvencii 1090 MHz. Vysielač výkon zariadenia je nastavený tak, aby zariadenie bolo schopné pokryť oblasť s polomerom 26 km. Samotný procesor systému ACAS potom spracováva jednotlivé odpovede tak, aby presnosť určenia smeru bolo lepšia ako 10°, pričom táto presnosť zodpovedá potrebe pilota získať vizuálny kontakt s cieľom. Schopnosť sledovať cieľ závisí od oblasti použitia – v súčasnosti je to až 30 cieľov; snaha je zvýšiť množstvo týchto objektov.

ACAS kontrolný panel – obsahuje selektívnu voľbu režimov zariadenia:

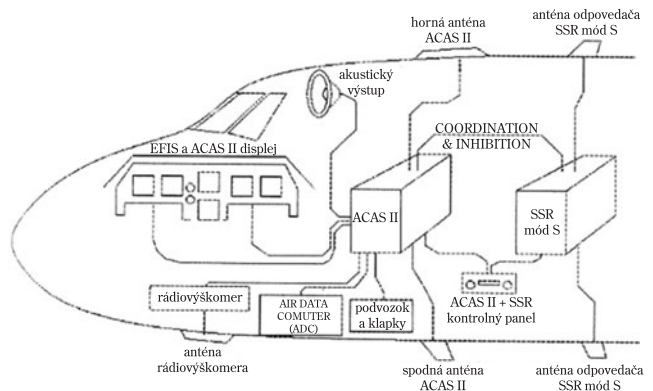
- Stand-by – systém je vypnutý,
- TA Only – len režim TA, poskytuje sa len informácia o prevádzke,
- Automatic alebo TA/RA – štandardný režim systému ACAS II.

Antény – systém ACAS používa antény umiestnené na hornej aj na spodnej časti trupu lietadla. Takéto usporiadanie antén ma zabrániť predovšetkým niektorým typom rušenia, ako je napr. viaccestné šírenie signálu. Horná anténa ma selektívnu charakteristiku, aby bolo možné dobre určiť smer lietadla; obvykle je rozdelená do viacerých sektorov krytia. Je schopná určiť smerník narušiteľa, od spodnej antény sa táto vlastnosť nevyžaduje. Vzhľadom na fakt, že palubný protizrážkový systém ACAS a pozemný sekundárny prehľadový radar SSR (Secondary Surveillance Radar) pracujú v rovnakom frekvenčnom pásme a zároveň na rovnakých frekvenciách, možno použiť jeden anténový systém pre obe zariadenia.

Prepojenie s palubným počítačom – systém ACAS dostáva s palubného počítača informáciu o barometrickej výške, rýchlosti lietadla a ďalšie údaje.

Prepojenie na rádiovýškomer – rádiovýškomer sa používa v malých výškach na presné určenie výšky lietadla nad zemou. Informácia o výške je jedným zo základných údajov potrebných na riešenie potenciálnej kolízie zabezpečením vertikálnej separácie lietadla od prekážok. Dôležité informácie poskytuje o stave letu vo fázach blízkosti zeme (vzlet, priblíženie na pristátie a pristátie), bezpečne identifikuje, či je lietadlo na zemi alebo vo vzduchu.

Zobrazovacia jednotka – sa nachádza na hlavnom paneli. Obvykle je kombinovaná s elektronickým zobrazením letových údajov EFIS (Electronic Flight Instrumentation System). Spravidla sa používajú dva druhy zobrazenia. Indikátor návrhu riešenia



Obr.2 Bloková schéma inštalácie systému ACAS II v zástavbe lietadla

konfliktu RA zobrazuje počítačom vybrané algoritmy riešenia konfliktu. Indikátor informácií o prevádzke TA poskytuje posádke informácie o relatívnej polohe blízkych lietadiel. Oba typy indikátorov môžu zahŕňať aj vizuálne, prípadne zvukové informácie, ktoré sú sprostredkované posádke lietadla prostredníctvom akustického výstupu [3].

Komunikácia

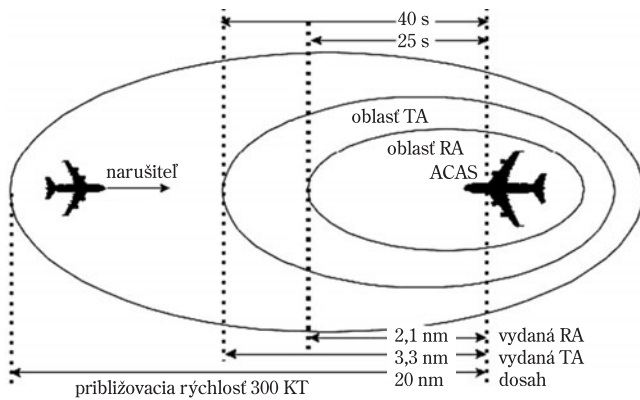
Palubné protizrážkové systémy komunikujú medzi sebou, aby koordinovali návrhy riešenia konfliktu. Sú takisto schopné komunikovať s pozemnými stanicami a odovzdávať im informácie pre službu riadenia letovej prevádzky. Na takúto komunikáciu sa používajú signály módu S, predovšetkým dátový kanál.

Lietadlo vybavené zariadením ACAS II je zároveň vybavené odpovedačom módu S. Odpovedač v tomto móde vykonáva funkcie odpovedača módu A/C a navyše zaisťuje komunikáciu lietadla – lietadlo na koordináciu návrhu riešenia konfliktu medzi lietadlami vybavenými zariadením ACAS II. Odpovedač módu S sa tiež používa na komunikáciu s pozemnými zariadeniami na sledovanie a prenos údajov v smere lietadlo – zem. [1]

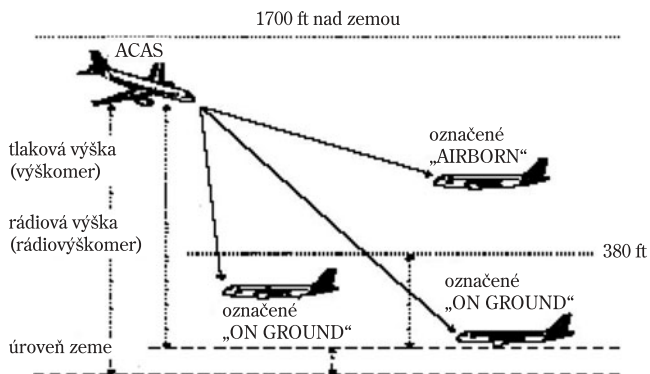
Vyspelý systém ACAS II a mód S sú životne dôležité komponenty na zavedenie voľných letov. Tento nový zdokonalený systém by mal prevádzkovateľom umožniť zavedenie voľných letov vďaka jedinečnej ochrane proti kolízii lietadiel za letu. Použitie vyspelého systému ACAS II a módu S s technológiou automatického závislého sledovania ADS-B (Automatic Dependent Surveillance) a algoritmu hybridného sledovania lietadla s väčším dosahom sledovania dáva prevádzkovateľovi šancu skrátiť trať letov vo filozofii voľných tratí s rozšírenými možnosťami vyhľadávania konfliktov. Možno voliť efektívne režimy letu a monitorovať ich zobrazenie na palube lietadla vrátane všetkých relevantných informácií o cudej prevádzke v danom priestore. Prezentovaním údajov v reálnom čase systémy založené na zdokonalených funkciách prenosu údajov vzduch (vzduch a vzduch (zem poskytujú prevádzkovateľom výrazne lepšie predpovede o možných kolíziách, presnejšie parametre letu (najmä presnosť v určení výšky letu, traťovej rýchlosti, polohových údajov) a redukciu potrebnej hlasovej komunikácie s letovými prevádzkovými službami.

Princíp práce protizrážkového systému

Systém ACAS je schopný pracovať na palube lietadla samostatne a nezávisle od pozemných zariadení. Vysielaním zadaní odpovedačom lietadiel monitoruje okolitú prevádzku v dosahu zariadenia. Vybavený algoritmi výpočtov parametrov letu určuje pravdepodobnosť kolízie. Ak je aj druhé lietadlo vybavené systémom ACAS, obe jednotky koordinujú svoje výstražné správy. Hlavnou črtou systému ACAS je to, že pracuje na princípe určenia zostávajúceho času do dosiahnutia konečného bodu zblíženia daných lietadiel CPA (Closest Point of Approach). Ak je prijatý aj údaj o nadmorskej výške, systém určí aj čas do dosiahnutia rovnakej výšky. Tento čas



Obr.3 Kritérium vzájomnej polohy



Obr.4 Označenie prevádzky v blízkosti zeme

sový údaj je hlavným parametrom potrebným na vydávanie výstražnej prevádzkovej informácie TA a odporúčania na riešenie potenciálneho konfliktu RA.

Podmienkou fungovania systému ACAS je, aby boli okolité lietadlá vybavené odpovedačmi v pracujúcom režime. Ak nemá lietadlo zapnutý odpovedač, je pre systém ACAS neviditeľné a pravdepodobnosť kolízie narastá. Podľa použitého módu komunikujúceho odpovedača môže ACAS zabezpečiť rôzne výstrahy:

- Mód A → odpovedač nevysiela žiadne údaje o výške, ACAS má iba dvojrozmernú informáciu o druhom lietadla, z čoho vyplýva, že môže vydať iba TA.
- Mód C → odpovedač vysiela informáciu aj o výške, čo dáva systému ACAS trojrozmernú informáciu o narušiteľovi a môže vydať RA.
- Mód S → narušiteľ umožňuje okrem vysielania údajov o polohe a výške aj diskrétné dátové spojenie, čo umožňuje vzájomnú koordináciu vydaných RA.

Monitorovanie okolitého priestoru prebieha tak, že za bežnej prevádzky ACAS vysiela odpovedačom okolitých lietadiel zadania každú sekundu, ak je zvolený režim zníženého pozorovania v priestore so slabšou hustotou prevádzky, tak každých 5 sekúnd. Z prijatých informácií od okolitých odpovedačov (vzdialenosť, smerník, výška) ACAS vypočíta približovacie rýchlosti voči každému lietadlu v dosahu a určí CPA, horizontálne rozstupy pri dosiahnutí bodu CPA. Ak je odpovedač cieľa v móde vysielania výšky, ACAS vypočíta výšku cieľa v CPA. Vertikálna rýchlosť pohybu cieľa sa vypočíta z času, počas ktorého nastúpa 100 alebo 25 ft v závislosti od režimu vysielania výšky.

Špeciálnu pozornosť si vyžadujú režimy letu v blízkosti zeme (vzlety a pristátia), kde potenciál kolízií navodzuje rastúce nebezpečenstvo situácie a obmedzené možnosti manévrovania. Ak je lietadlo vo výške menšej ako 1700 ft nad zemou, používa na výpočet rádióvu výšku. Ak je cieľ vo výške menšej ako 380 ft nad zemou, ACAS ho vyhodnotí ako pohybujúci sa po zemi a nevydáva mu žiadne RA.

Detekcia ohrozujúcej prevádzky v systéme ACAS II spustí výstrahu vždy, keď vzdialenostný a výškový test vyhodnotí cieľ ako ko-

výška letu (ft AGL, FL)	čas (s)		vzdialenosť (NM)	
	TA	RA	TA	RA
0 – 1000	20	no RA	0,30	no RA
1000 – 2350	25	15	0,33	0,20
2350 – FL 050	30	20	0,48	0,35
FL 050 – FL 100	40	25	0,75	0,55
FL 100 – FL 200	45	30	1,00	0,80
> FL 200	48	35	1,30	1,10

AGL (Above Ground Level) – nad zemským povrchom

FL (Flight Level) – letová hladina podľa štandardného označenia

Tab.1 Limitné hodnoty určujúce nebezpečenstvo zblíženia

lízny. Testy sa vykonávajú pre každý cieľ v danom dosahu zariadenia udávajúceho výšku každú sekundu. Aby sa zabránilo vydávaniu „nepotrebných“ výstrah v nižšej výške, limitné hodnoty zblíženia a času do CPA sú rôzne v závislosti od výšky letu lietadla (tab. 1).

Princíp vzdialenostného testu spočíva v určení bodu najbližšieho zblíženia CPA vydelením vzdialenosti cieľa rýchlosťou zblížovania. Test je pozitívny, ak je vypočítaný čas zblíženia menší ako stanovená hranica, uvedená v tab. 1. Pri veľmi malej rýchlosti zblížovania systém vyhodnotí test ako pozitívny, ak vzdialenosť dosiahne menšiu hodnotu, ako je stanovená hraničná hodnota, ktorá je v prípade TA 1,3 NM a v prípade RA 1,1 NM.

Princíp výškového testu spočíva v určení času do dosiahnutia rovnakej výšky vydelením relatívneho výškového rozstupu rýchlosťou vertikálneho zblížovania. Výškový test je pozitívny, ak je vypočítaný čas menší ako hraničná hodnota, uvedená v tab. 1. Ak lietadlo letí horizontálnym letom, hraničná hodnota je znížená na 25 s na vydanie RA, ak bude ako vyhýbací manéver voči narušiteľovi možné klesanie. V prípade lietadiel letiacich vodorovným letom alebo ak je vertikálna rýchlosť zblížovania malá, hranica vertikálneho rozstupu na vydanie výstrah je znížená na 850 ft pre TA a 700 ft pre RA. Musíme vziať do úvahy aj to, že výška prijatá z odpovedača narušiteľa môže byť zaokrúhľená na 100 ft alebo 25 ft, z čoho vyplýva, že presná výška letu narušiteľa, s ktorou počíta systém ACAS, môže byť iná než skutočná.

Literatúra

- [1] KULČÁK, L. a kol.: Zabezpečovacia letecká technika. Žilina, 1999.
- [2] Annex 2 Rules of the air. ICAO, Montreal, 1999.
- [3] Annex 10 Aeronautical Telecommunication – Volume IV – „Surveillance of the Air and Air Traffic Service“. ICAO, Montreal, 2000.
- [4] O'HARA, C.: On-board warning system proves to be pilots' and air travelers' best friend. FCW article, <http://www.rannoch.com>.

Pokračovanie v budúcom čísle.

doc. Ing. Luděk Beňo, CSC.

Prodekan fakulty PEDaS, ŽU
Univerzitná 1, 010 26 Žilina
e-mail: Ludek.Beno@fpedas.utc.sk

Ing. Andrej Novák, PhD.

odborný asistent
Katedra Leteckej dopravy
Fakulta PEDaS, ŽU
Univerzitná 1, 010 26 Žilina
e-mail: Andrej.Novak@fpedas.utc.sk

Ing. Milan Bačo

doktorand
Katedra Leteckej dopravy
Fakulta PEDaS, ŽU
Univerzitná 1, 010 26 Žilina
e-mail: Milan.Baco@fpedas.utc.sk

9