

Vörös Miklós mk.százados, főiskolai adjunktus:

A REPÜLŐGÉP FEDÉLZETI RÁDIÓTECHNIKAI BERENDEZÉSEK
MEGBÍZHATÓSÁGÁNAK MINŐSÍTÉSE

BEVEZETÉS

A rádiótechnikai berendezések egyik legfontosabb tulajdonsága a megbízhatóság. A megbízhatósági jellemzők véletlenszerűen változó mennyiségek, meghatározásukkal a valószínűségi számítás, illetve a matematikai statisztika foglalkozik. A leggyakrabban használt megbízhatósági függvények közötti összefüggéseket az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Megnevezés	$R(t)$	$F(t)$	$f(t)$	$\lambda(t)$
Hibamentes működés valószínűsége, $R(t)$		$1 - R(t)$	$-\frac{d}{dt} R(t) = -R'(t)$	$-\frac{1}{R(t)} \frac{d}{dt} R(t)$
Meghibásodás valószínűsége, $F(t)$	$1 - R(t)$		$\frac{d}{dt} F(t)$	$\frac{1}{1 - F(t)} \frac{d}{dt} F(t)$
Meghibásodás valószínűségének sűrűség-függvénye, $f(t)$	$\int_t^{\infty} f(u) du$	$\int_0^t f(u) du$		$\frac{f(t)}{\int_t^{\infty} f(u) du}$
Meghibásodási ráta, $\lambda(t)$	$e^{-\int_0^t \lambda(u) du}$	$1 - e^{-\int_0^t \lambda(u) du}$	$-\frac{d}{dt} e^{-\int_0^t \lambda(u) du} = \lambda(t) e^{-\int_0^t \lambda(u) du}$	

A fedélzeti rádiótechnikai berendezések minősítésére alkalmas megbízhatósági mutatók közül leggyakrabban használt az ún. MTBF (Mean Time Between Failures), mely a meghibásodások között eltelt átlagos időtartamot adja meg. Az MTBF következő fajtáit használják:

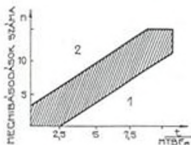
- előírt ($MTBF_e$) - egy új berendezés fejlesztői, gyártói számára a megrendelő által előírt érték;
- prognosztizált vagy számított ($MTBF_p$) - a felhasznált rádióelektronikai alkatrészek laboratóriumi körülmények között meghatározott meghibásodási rátája és az áramköri struktúrák alapján, szabvány által előírt számítások útján nyert érték. A telepítés körülményeit figyelembe véve az USA MIL-STD-756 szabvány a következő szorzótényezőket írja elő:

hajófedélzet	x 1,0	mesterséges hold:	
repülőgép	x 6,5	induló és leszálló pálya	x 80
rakéta	x 80	földkörüli pálya	x 1,0

- laboratóriumi ($MTBF_1$) - szabvány által előírt módon, laboratóriumi körülmények között végzett vizsgálatok eredményeképpen nyert érték. A MIL-STD-781 szabvány szerint tervezett kísérlet lefolyását mutatja az 1. ábra. Ha a kísérlet időtartama alatt a meghibásodások száma a 2. zónába esik, a berendezést selejtessé nyilvánítják.

Ha a meghibásodások száma a satírozott területen belül van, a berendezések eleget tesznek a követelményeknek.

Az 1. zónába eső meghibásodási szám esetében a kísérletet addig folytatják, amíg a fenti két esemény közül valamelyik be nem következik.



1. ábra

- üzemi ($MTBF_u$) - valós üzemeltetési körülmények között meghatározott érték (számításakor csak a légi üzemelési időt veszik figyelembe).

A tapasztalatok azt mutatják, hogy a valós körülmények között üzemelő berendezések meghibásodási valószínűsége gyakran nagyságrenddel nagyobb,

mint az előírt vagy a prognosztizált érték. A cikk célja a megbízhatósági mutatók számított és az üzemeltetés során nyert értékeinek összehasonlítása, a közöttük lévő eltérések lehetséges okainak feltárása, illetve az eltérések csökkentésére irányuló eredmények bemutatása.

Számított és valós üzemeltetési körülmények között meghatározott megbízhatósági mutatók értékeinek összehasonlítása

Az USA légierijében öt évig tartó, 12 fajta rádióelektronikai berendezést 10 különböző fegyverrendszerben, több típusú repülőgép fedélzetén üzemeltetve nyert adatokat foglalja össze a 2. táblázat. Az összes üzemidő 1 740 000 óra volt, ebből 1 100 000 óra jutott a légi üzemeltetésre.

2. táblázat

Berendezés	$\frac{MTBF_p}{MTBF_e}$	$\frac{MTBF_l}{MTBF_e}$	$\frac{MTBF_{\bar{u}}}{MTBF_e}$	$\frac{MTBF_x}{MTBF_l}$	$\frac{t_{\text{össz}}}{t_{\text{rep}}}$
	Hírközlő	2,43	1,23	0,25	0,36
"	0,94	1,00	0,05	0,32	1,41
Lokáció	1,10	1,25	0,28	0,51	2,20
"	1,48	1,06	0,23	0,60	2,17
"	2,25	1,59	0,11	0,20	2,71
"	3,44	1,21	0,56	1,27	1,76
"	3,00	1,72	0,07	0,07	1,42
Rádiónavigáció	1,05	0,96	0,06	0,22	2,48
"	4,27	1,30	0,15	0,35	2,18
"	2,25	1,35	0,17	0,28	2,04
"	1,01	1,32	1,13	1,16	1,23
"	0,98	0,99	0,46	0,63	1,18

A táblázat adataiból megállapítható, hogy míg az előírt és a laboratóriumi MTBF értéke közeli, addig az üzemi és az előírt (vagy laboratóriumi) között nagy az eltérés. Az eltérések az alábbi okokra vezethetők vissza:

1./ A megbízhatóság értékelési (számítási) módszereinek eltérősége:

- kis számi vizsgálat eredményeinek általánosítása;
- a laboratóriumi körülmények nem tudják teljes egészében modellezni a valós üzemeltetési viszonyokat;
- ugyanazon jelenség laboratóriumi, ill. valós üzemi körülmények között hibátlan működésnek vagy meghibásodásnak is számíthat. (Pl. $MTBF_{\bar{u}}$ meghatározásakor a műszaki kiszolgálás teljes folyamata - mely tartalmazza a technológia szerint előírt ellenőrzéseket és a tényleges meghibásodás esetében szükséges javítómunkát is - meghibásodásnak számít);
- a laboratóriumi kísérletek és a valós üzemeltetés során különböző időalapot vesznek figyelembe $MTBF$ meghatározásakor. $MTBF_1$ számításakor a kísérlet időtartamának és az ez alatt bekövetkező meghibásodások számának hányadosát, míg $MTBF_{\bar{u}}$ meghatározásakor a t_{rep} légi üzemelési idő és az ehhez szükséges naptári időszak alatt bekövetkező meghibásodások hányadosát számítják. A berendezések azonban nemcsak repülés közben, hanem az előírt földi ellenőrző munkák végrehajtása során is működnek, s ez az időtartam jelentős lehet.
A 2. táblázat $t_{össz}/t_{rep}$ oszlopában az összes üzemidő és a légi üzemidő hányadosa van feltüntetve.
 $MTBF_e$ és $MTBF_{\bar{u}}$ értékei közelíthetők, ha az utóbbi meghatározásakor a berendezés $t_{össz}$ üzemidejével számolnak ($MTBF_x/MTBF_{\bar{u}}$ oszlop a 2. táblázatban).

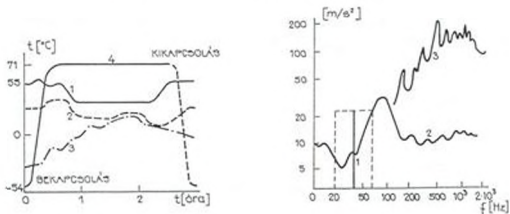
2./ Az üzemeltetés sajátosságai. Az $MTBF_e$ és az $MTBF_{\bar{u}}$ közötti eltérés kb. 50 %-át az üzemeltetés körülményei okozzák:

- legerősebb hatást a berendezések cseréjének intenzitása, a javítás időtartama, a repülési feladat időtartama és bonyolultsága, valamint a berendezések üzemideje fejt ki;

- a meghibásodások 20-60 %-a kikapcsolt állapotban következik be. Jelenleg még nincs megbízható módszer a nem működő berendezések állapotára ható külső tényezők figyelembe vételére;
- a javítómunkák több mint egyharmada nem magukra a berendezésekre, hanem a közöttük lévő csatlakozó és illesztő egységekre irányul, melyek ellenőrzése a hibaelhárítás után megköveteli a kapcsolódó berendezések bekapcsolását, így annak üzemidejét növeli;
- a berendezések megbízhatóságára hatással van az üzemeltető és a kiszolgáló állomány felkészültsége, lelkiismeretes munkavégzése.

3./ A laboratóriumi és a valós üzemeltetési körülmények közötti jelentős eltérés. Ezt bizonyítja, hogy az üzemeltetés során bekövetkező meghibásodások több mint felét külső behatások okozzák. Vadászrepülőgépeken és bombázókon végzett megfigyelések során az $MTBF_o/MTBF_{ü}$ érték 2,7 ill. 1,3 volt, ami a vadászgépekre ható erősebb külső hatások ismeretében szintén ezt támasztja alá.

A külső tényezők közül legerősebb hatást a hőmérséklet, a vibráció és a páratartalom széles határok közötti, gyors, együttes változása fejti ki. A 2. ábrán a hőmérsékleti és a vibrációs terhelést mutatja valós repülési körülmények, valamint a MIL-350-781 szabványnak megfelelő laboratóriumi vizsgálati körülmények között, (a/ ábrán: 1,2,3 - sivatagi, trópusi, ill. sarkvidéki üzemeltetés során mért értékek; 4 - szabvány által előírt változás; b/ ábrán: 1 - szabvány által előírt, 2,3 - normál repülés, ill. légilövészet esetében mért értékek).



2. ábra

A méréseket A-7 típusú repülőgép lokátorterében végezték. Szemmel látható a kísérleti és a valós üzemeltetési viszonyok közötti jelentős eltérés.

A laboratóriumi vizsgálati módszerek korszerűsítése

Az eddig leírtak alapján nyilvánvaló, hogy a rádiótechnikai berendezések megbízhatóságának meghatározásakor a valós üzemeltetési viszonyokat a lehetőség szerint legjobban megközelítő laboratóriumi kísérleti körülményeket kell biztosítani. A mérésértékeléshez nélkülözhetetlen új előírások és szabványok kidolgozása. A korszerűsítést célzó intézkedések két csoportba sorolhatók.

Az első csoportba az adatgyűjtés szervezési kérdései tartoznak. Egyszerűsíteni kell a mérésadat-gyűjtés rendszerét, valamint azonos meghibásodási kritériumokat kell alkalmazni a vizsgálatok és az üzemeltetés során.

A második csoportot a vizsgáló berendezések korszerűsítésére irányuló műszaki megoldások, elképzelések alkotják. Ezek nem ritkán nagyságrendekkel több anyagi befektetést követelnek, mint a hagyományos technika.

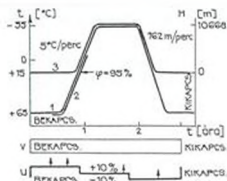
A vizsgálati körülmények korszerűsítése

Alapvető cél, hogy a laboratóriumi körülmények minél jobban megközelítsék a valós üzemeltetési viszonyokat.

Ennek érdekében:

- a kísérleteket a repülőgép típusának, a vizsgált berendezés fajtájának és a fedélzeten történő elhelyezésének, valamint a jellegzetes repülési üzemmódoknak a figyelembe vételével kell kialakítani;
- a kísérletek során az állóhelyen történő működést és a berendezés kikapcsolt állapotát is szimulálni kell;
- imitálni kell az üzemeltetés földrajzi környezetének jellegzetes klimatikus viszonyait;

- széleskörűen kell alkalmazni a repülés közben szerzett, valamint a matematikai modellezés során nyert adatokat, tapasztalatokat;
- a kísérlettervezés és a fakt-analízis eszközeivel racionalizálni kell a vizsgálatok során alkalmazott külső behatások időbeli sorrendjét;
- a laboratóriumi vizsgálatok során a berendezéseket igénybe vevő hatásokat komplex módon, azaz egyidejűleg kell létrehozni, és dinamikusan, a közöttük lévő kölcsönhatásnak megfelelően kell változtatni. A MIL-STD-810 szabványnak megfelelő vizsgálati ciklust mutat a 3. ábra.



3. ábra

- u - tápfeszültség;
- φ - páratartalom;
- 1 - hőmérséklet;
- 2 - páratartalom;
- 3 - nyomás (magasság);
- 4 - vibráció

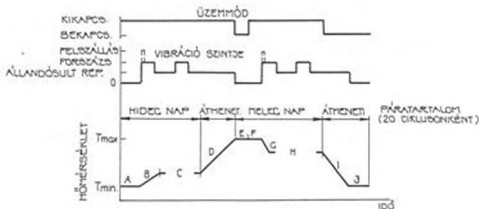
A vizsgálati programok korszerűsítése

Az új laboratóriumi vizsgálati eljárások közös jellemzője a komplex behatássorozat létrehozása.

A 3. táblázat és a 4. ábra a Grumman cég által javasolt komplex behatássorozatot ábrázolja. Egy vizsgálati ciklus a repülőgép összes lehetséges, valós körülmények között regisztrált üzemmódját magába foglalja.

3. táblázat

Szakasz	Megnevezés	Időtartam	Berendezés állapota
A	Földi üzem (hideg nap)	30 perc	Bekapcsolva
B	Emelkedés	Berendezésfüggő	"
C	Feladatvégrehajtás	"	"
D	Süllyedés (meleg nap)	"	Kikapcsolva
E	Földi állóhely (")	30 perc	"
F	Földi üzem (")	"	"
G	Emelkedés	Berendezésfüggő	"
H	Feladatvégrehajtás	"	"
I	Süllyedés (hideg nap)	"	"
J	Földi állóhely (hideg nap)	30 perc	"



4. ábra

A komplex vizsgálatok hatékonyságát bizonyítják a következő adatok. Az F-4 repülőgépek feszültségszabályozó paneljének gyakori meghibásodása miatt 101 darabot komplex vizsgálatra bocsátottak. A vizsgálat során 40 - 2000 Hz spektrumi, 25 g vibrációs terhelést kombináltak ($-60 \div +125$)^oC közötti hőmérsékletváltozással. A vizsgált panelek közül 82 esetben jelentkező meghibásodás, alapvetően az összekötő elemek gyengesége miatt. Az AN/ARN-84 navigációs lokátor MTBF_ü értéke $50 \div 200$ óra volt, mely a komplex vizsgálatok befejezése után 1000-2000 órára növekedett.

A vizsgáló rendszerek korszerűsítése

A kísérleti módszerek és programok változása szükségessé teszi a vizsgáló rendszerek korszerűsítését is (5. ábra).



5. ábra

A külső behatásokat (ingereket) létrehozó berendezések olyan zárt vizsgálókamrák, melyek dinamikusan változó környezeti hatásokat (hőmérséklet, nyomás, páratartalom, vibráció) képesek egyidejűleg, programvezérlés alapján létrehozni.

Az univerzális berendezések mellett rohamosan terjednek a specializált, csak adott típusú fedélzeti rádiótechnikai rendszer vizsgálatára alkalmas eszközök is.

A mérési eljárást megvalósító mérőrendszer, mérőkészülékek, mérőműszerek, jelátvivő és jelfeldolgozó egységek, adatregisztráló készülékek és vezérlők meghatározott (szabványosított) információs kapcsolatokkal rendszerbe tervezett együttese. A mérőrendszer fontos jellemzője a rugalmasság, az egyszerű változtathatóság, a bővíthetőség. Szinte kizárólagos korszerű rendszerek esetében a jelfeldolgozási és vezérlési funkciók számítógépekkel való elvégzése.

Meghatározó jelentőségű az ember - gép, ill. a mérés technikus - mérőrendszer kapcsolat szempontjából a komfortos, elektronikus kezelői felület.

Összefoglalás

Az elmondottak alapján megállapíthatjuk, hogy a laboratóriumban mért és a valós üzemeltetési körülmények között nyert megbízhatósági jellemzők közötti jelentős eltérést alapvetően a kísérletek által csak közelítően imitált külső környezeti hatások okozzák.

A laboratóriumi vizsgálatok eredményeinek további pontosítása céljából a következő módszereket kell alkalmazni.

- a rádiótechnikai berendezések megbízhatósági analizisét szélesebb, több összefüggést feltáró statisztikai adathalmaz alapján kell nyerni, mely figyelembe veszi a konkrét repülőgép típust, a vizsgált berendezés fajtáját, elhelyezését a fedélzeten, az üzemeltetési légi és földi sajátosságait, tapasztalatait;
- a berendezéseket igénybe vevő külső hatásokat komplex módon, azaz egyidejűleg kell létrehozni és dinamikusan, a közöttük lévő kölcsönhatásnak megfelelően kell változtatni;
- kiegészítő külső hatásokat is létre kell hozni (pl. elektromos hálózatokban létrejövő tranzienst folyamatok, berendezések szállítása, raktározása, kikapcsolt állapotban);
- gyorsított laboratóriumi vizsgálati módszereket kell kidolgozni, különös tekintettel a magas MTBF-el rendelkező berendezések részére;
- új, a fenti követelményeknek megfelelő szabványokat és mérésértékelési eljárásokat kell kidolgozni.

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Szerk. Dr.Schnell: Jelek és rendszerek mérés technikája
Műszaki Könyvkiadó, 1985.
Zarubeznas Radioelektronika, 1980/1.
2. Dr. Házman: Elektronikai berendezések tervezése
Műszaki Könyvkiadó, 1987.