SOME PROBLEMS OF AIRCRAFT'S LEAD-ACID BATTERIES

WYBRANE ZAGADNIENIA Z EKSPLOATACJI LOTNICZYCH POKŁADOWYCH KWASOWYCH BATERII AKUMULATOROWYCH

Andrzej Gębura, Tomasz Radoń

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

e-mail: andrzej.gebura@itwl.pl

Streszczenie: W artykule omówiono zagadnienia związane z eksploatacją lotniczych pokładowych elektrycznych baterii akumulatorowych, elementów pojemnika-kontenera oraz elementów obwodów elektrycznych łączących tę baterię z układem rozruchu i zapłonu. Główną uwagę skupiono na przypadkach eksploatacyjnego uszkodzania się baterii. Dokonano analizy niektórych przypadków nieudanych rozruchów i przedstawiono próbę znalezienia przyczyn. Wspomniano również o wpływie zwiększonej rezystancji przyłączy minusowych, pokładowych baterii akumulatorowych na niektóre „niedomagania” lotniczych pokładowych baterii akumulatorowych. Osobny rozdział poświęcono złączom wysokoprądowym pokładowej elektrycznej baterii akumulatorowej. Zaproponowano wymianę złączy wysokoprądowych „starego” systemu na złącza zgodne ze standardem NATO. Złącza standardu NATO w praktyce eliminują eksploatacyjne zużywanie się styku wysokoprądowego.

Słowa kluczowe: lotnicza bateria akumulatorowa, ogniwo elektryczne, zjawisko woskowatości,

Abstract: Problems related to operating of aircraft lead-acid batteries elements of a container as well as elements of electric circuits connecting the battery with the ignitron. Batteries are used for starting an engine of aircraft. They operate directly with generators driver by aircraft's engines as well as are used for supply of Power network's receivers In case of generators failure. The principal attention is drown to the cases of battery's. The analysis of same unsuccessful starting an engine occurs as well as the attempt to firs a reason Fusing on ITWL's researches and observations. The reasons are, according to opinion of authors', underline battery's defects as well as a operating wear of the battery container's elements and increased voltage drops In electric circuits connecting the battery with the ignitron system. The influence of increased resistance of minus terminals of aircraft's batteries on some defects of batteries is also mentioned. A separate chapter is dedicated to hight-current connections of aircraft's battery which are a battery container's element. The change of "old" hight-current connections on the connections according to NATO standards has been proposed. Connections according to NATO statndards eliminate the operating wear of high-current terminal into practice.

Keywords: aircraft battery, electric cell, wax effect.

1. Wstęp

Rola pokładowej baterii akumulatorowej w systemie pokładowej sieci elektroenergetycznej wojskowego statku powietrznego

Współczesny statek powietrzny ma liczne urządzenia zasilane elektrycznie, jak: systemy nawigacyjne, układy łączności, uzbrojenia, oświetlenia, układy automatycznego sterowania. Ten szybki i łatwo przetwarzalny rodzaj energii jest bezdyskusyjnie niezbędny na pokładzie statku powietrznego. Generowany jest przez prądnicę pokładową, która zamienia energię mechaniczną pobieraną z silnika głównego SP na energię elektryczną. Prądnica jest podstawowym źródłem energii elektrycznej statku powietrznego jest prądnica elektryczna. Jednakże przy **rozruchu** ona nie pracuje, zaś rozruch ręczny poprzez pokręcanie śmigłem był bardzo niebezpieczny i wymagał, zwłaszcza w okresie zimowym znacznego wysiłku fizycznego. Dlatego też zaczęto stosować pokładowe baterie akumulatorowe. Zgodnie z normami [5, 7], pojemność lotniczej pokładowej baterii akumulatorowej powinna być na tyle duża, aby możliwe było wykonanie trzech po sobie następujących typów rozruchów:

- „zimny” rozruch, tj. obracanie zespołu wirnikowego silnika turbinowego bez dostarczania paliwa i bez uruchamiania układu zapłonowego, wykonywany jest w celu przesmarowania elementów mechanicznych silnika;
- „pozorny” rozruch, tj. obracanie zespołu wirnikowego silnika turbinowego z otwartymi obwodami wtrysku paliwa i bez uruchamiania układu zapłonowego, wykonywany jest w celu przemycia wnętrza silnika, np. podczas rozkonserwowania;
- „gorący” rozruch, tj. obracanie zespołu wirnikowego silnika turbinowego z otwartymi obwodami wtrysku paliwa i po pewnym czasie (zazwyczaj po 10–20s) z podaniem iskry elektrycznej, wykonywany jest w celu uzyskania pełnej mocy użytecznej silnika.

Kolejna funkcja pokładowej baterii elektrycznej to **zasilanie pokładowej sieci elektrycznej w czasie awarii prądnicy pokładowej**. Zgodnie z przepisami [5], pojemność pokładowej baterii elektrycznej powinna zapewnić **przez 30 minut** zasilanie odbiorników energii elektrycznej, niezbędnych do przeprowadzenia bezpiecznego lotu do lotniska awaryjnego. Ponadto pojemność znamionowa baterii powinna być na tyle duża, aby umożliwić zasilanie wszystkich niezbędnych w stanie awaryjnym odbiorników energii elektrycznej wraz ze światłami gabarytowymi z pułapu do poziomu ziemi.

Trzecią funkcją pokładowej baterii akumulatorowej jest **współpraca z pokładową siecią elektryczną** statku powietrznego. Jak wspomniano podstawowym źródłem energii elektrycznej SP jest prądnica pokładowa, która zamienia energię mechaniczną pobieraną z silnika głównego SP na energię elektryczną. Następnie cała sieć szyn rozdzielczych, przewodów elektrycznych, styczników i włączników rozdziela energię elektryczną do poszczególnych odbiorników.

Okazuje się, że z różnych przyczyn¹ jakość tej energii elektrycznej, reprezentowanej m.in. przez poziom napięcia na zaciskach odbiorników, nie jest do końca stabilna. Zgodnie z normami dot. jakości energii elektrycznej [5], dopuszczalne są znaczne obniżenia wartości napięcia (w tzw. stanie przejściowym – w znacznym uproszczeniu – z 28 V do 12 V przez czas $\Delta t < 0,1$ s), a nawet zaniki napięcia (wg EN do 30 ms, wg ISO-1540 do 80 ms). Niestety wiele odbiorników energii elektrycznej jak niektóre układy elektroniczo-nawigacyjne, zwłaszcza układy techniki komputerowej, nie może poprawnie funkcjonować przy tak długim czasie trwania obniżenia napięcia. Dlatego też na pokładzie każdego statku powietrznego jest montowana pokładowa bateria akumulatorowa, która w odpowiedni sposób współpracuje z pokładową siecią elektryczną. Jeżeli w sieci elektrycznej istnieje nadmiar energii, to jest ona pochłaniana właśnie przez pokładową baterię akumulatorową. Jeżeli natomiast w sieci występuje niedobór energii, to jest ona pobierana z pokładowej baterii akumulatorowej. Ten sposób współpracy pokładowej baterii akumulatorowej z pokładową siecią elektryczną nazywany jest pracą buforową.

Typy i rodzaje lotniczych pokładowych baterii akumulatorowych

Aktualnie w naszym lotnictwie wojskowym wykorzystuje się dwa rodzaje baterii akumulatorowych: kwasowe i zasadowe.

Kwasowe baterie akumulatorowe stanowią jeden z najstarszych rodzajów lotniczych baterii akumulatorowych. Ich zaletą jest: niska cena, niski poziom samo wyładowywania, ścisła zależność gęstości od pojemności. Ich wadą: konieczność stosowania stosunkowo niskich znamionowych prądów ładowania i rozładowania, agresywność oparów, możliwość nieodwracalnego uszkodzenia (zasiarczenia) jeśli nie będą systematycznie doładowywane, wysoka masa na jednostkę pojemności. Niski prąd ładowania dla danej pojemności to długi czas ładowania co znacznie wydłuża czas przywrócenia gotowości wyładowanej baterii. Niski znamionowy prąd rozładowania to w przypadku konieczności dokonania rozruchu nie oznacza niemożliwości obciążenia znacznymi prądami np. rozruchowymi, lecz to że wówczas taka bateria znacznie szybciej się zużywa. Przez niektórych praktyków są nazywane bateriami „brudnymi” – ich opary działają destrukcyjnie na elementy elektroniczne, połączenia metalizacyjne i inne podzespoły. Raz uruchomione muszą być przechowywane „w pełnej gotowości” do działania. Podczas przechowywania wymagają okresowego (co 1–2 miesiące) doładowywania i uzupełnienia wody destylowanej w celu uniknięcia zasiarczenia. Zasiarczenie jest, praktycznie biorąc, nieodwracalne i równoznaczne ze zniszczeniem baterii. W czasie ich ładowania i rozładowywania gęstość elektrolitu zmienia się

¹ Zjawiska zmian parametrów napięcia wynikają zazwyczaj ze specyfiki połączenia podobwodów przez urządzenia komutacyjne, opóźnienia reakcji układów automatyki, wpływ momentu bezwładności mechanicznej wirników silników elektrycznych, tłumieniem przepływu uderzeń prądowych przez indukcyjność i tłumienie zmian napięcia przez pojemność.

w stosunkowo niewielkim stopniu – kilka do kilkanastu procent. Mają niewielki prąd samorozładowania i są przez to zawsze gotowe do działania rozruchowego.

Baterie zasadowe weszły na pokłady wojskowych statków powietrznych znacznie później niż kwasowe. Ich zaletami są: znacznie wyższe prądy ładowania i rozładowania, niższa² masa na jednostkę pojemności, dobrze przechowują się w stanie rozładowanym. Ich wadami są: znacznie wyższe ceny, duże prądy samorozładowania. Znaczny prąd samorozładowania powoduje, że po długim nieużywaniu (np. cztery tygodnie), będzie ona potencjalnie sprawna, lecz praktycznie nie można z niej wykonać rozruchu. Jeżeli więc wojskowy statek powietrzny stacjonuje w odosobnionym miejscu, pozbawionym infrastruktury lotniskowej, to po długim postoju (powyżej czterech tygodni) staje się on bojowo bezużyteczny. Podsumowując:

- Baterie kwasowe są stabilne napięciowo, ale wymagają długiego ładowania i nie lubią oddawać dużych prądów, jednocześnie prawie nie słabną podczas długiego postoju, ulegają szybkiemu zużyciu przy wyładowywaniu dużymi prądami.
- Baterie zasadowe są doskonałe do szybkiego ładowania i wyładowania dużymi prądami, ale szybko „słabną” przy długim postoju, jakkolwiek ten długi postój prawie im nie szkodzi, gdyż nie uszkadza struktury wewnętrznej baterii.

Baterie kwasowe ołowiowe są 4÷7 razy tańsze niż zasadowe, co też ma swoje znaczenie. Można wysnuć wniosek, że baterie zasadowe powinny być stosowane na pokładzie wojskowego statku powietrznego w okresie intensywnych lotów bojowych, zaś w czasie postoju powinny być montowane baterie kwasowe. W praktyce jest to prawie niemożliwe, z uwagi na destrukcyjny wpływ oparów kwasów na zasadę.

1. Specyfika roli pokładowych baterii akumulatorowych w warunkach misji wojskowych

W czasie zwiększania resursów technicznych układów elektroenergetycznych śmigłowców transportowych w Iraku i Afganistanie, autorzy niniejszego artykułu zwrócili uwagę na liczne uszkodzenia agregatów, nietypowe co do skali i rodzajów zużycia w porównaniu do ich dotychczasowych doświadczeń w kraju. Konieczność wykonywania szybkiego startu z przygodnych lotnisk, często ze względów taktycznych, czynią z pokładowych baterii akumulatorowych bardzo istotny element gotowości bojowej wojskowego statku powietrznego. Na takich lądowiskach zazwyczaj nie ma naziemnych źródeł energii elektrycznej – rozruchy odbywają się z pokładowych baterii akumulatorowych.

W związku ze znacznymi zmianami prędkości obrotowej lub zmianami poziomu obciążenia prądnicy pokładowych wymuszonych dynamiką działań taktycznych,

² Akumulator srebrowo-cynkowy jest ok. 3÷6 razy mniejszy i 5 razy lżejszy niż akumulatora kwasowego ołowiowego. I tak na przykład, bateria akumulatorowa o pojemności 200 Ah waży zaledwie 2,5 kg, podczas gdy taki sam akumulator kwasowy waży przeszło 12 kg [1, s. 139].

znacznie częściej niż w warunkach pokojowych dochodzi do zmian poziomu napięcia. Przy szybkich zmianach prędkości obrotowej lub zmianach poziomu obciążenia układ regulacji napięcia wyjściowego prądnicy nie jest w stanie w pełni go stabilizować z uwagi na pewną zwłokę działania tego układu:

- układy elektroniczne – $10 \div 40$ ms,
- regulatory węglowe³ – $30 \div 80$ ms.

Powstają wówczas w sieci elektroenergetycznej impulsy przepięciowe lub zanikowe. Tylko częściowo są one tłumione przez filtry pokładowe. Znaczna część energii tych impulsów jest pochłaniana przez pokładową baterię akumulatorową. Duże wartości amplitudy napięcia tych impulsów mogą spowodować przebicia separatorów. Wtórnie przy uszkodzeniu separatorów może dojść do zwarcia elektrycznych pomiędzy różnoimiennymi płytami.

Długotrwałe (od 80 ms do kilkunastu sekund) obniżenie prędkości obrotowej silnika i prądnicy pokładowej może spowodować obniżenie jej napięcia wyjściowego poniżej poziomu napięcia na zaciskach głównych pokładowej baterii akumulatorowej. Wówczas pokładowa bateria akumulatorowa oddaje swoją energię – powstaje tzw. prąd zwrotny o znacznej wartości. Zazwyczaj automatyka sieci pokładowej czuwa, aby wartość tego prądu nie przekroczyła średniego prądu zwrotnego⁴ $I = 10 \div 50$ A – powyżej tej wartości prądnica jest odłączana i pokładowa bateria akumulatorowa przejmuje wówczas pełne obciążenie. Jest to stan awaryjny i zdarza się w praktyce dosyć rzadko. Znacznie częściej może dochodzić podczas ładowania lub dynamicznego zmniejszania prędkości obrotowej do buforowego przekazywania energii pomiędzy prądnicą pokładową a pokładową baterią akumulatorową. Powoduje to wzrost temperatury elektrolitu. Jeżeli eksploatacja pokładowej baterii akumulatorowej np. kwasowej odbywa się w temperaturze $+55^{\circ}\text{C}$ ⁵, to dodatkowe zwiększanie temperatury na skutek intensywnej pracy buforowej obniża znacznie sprawność energetyczną baterii. Bateria kwasowa poza tym, jak wcześniej wspomniano, źle toleruje wysokie prądy uderzeniowe – znacznie lepsza w tej roli byłaby lotnicza bateria zasadowa.

Ogólnie biorąc, pokładowe baterie akumulatorowe są zazwyczaj przeładowywane i przegrzewane w czasie eksploatacji w warunkach misji wojskowej w okresie letnim. Sytuację pogarsza niezrozumienie procesów eksploatacji baterii pokładowej podczas postoju statku powietrznego. W czasie postoju w bazie lotniczej baterie akumulatorowe są zazwyczaj oddawane do polowej stacji ładowania. Są one tam przeważnie tylko doładowywane. Często w warunkach intensywnych działań

³ *Regulatory węglowe – prąd wzbudzenia jest przepuszczany przez stos pastylek węglowych (stąd nazwa regulatora) ściśniętych specjalną sprężyną. Przy wzroście napięcia wyjściowego prądnicy, elektromagnes, który jest załączony na zaciskach wyjściowych prądnicy, rozciąga stos węglowy, zwiększając tym samym jego rezystancję i zmniejszając prąd wzbudzenia prądnicy. Powoduje to zmniejszenie napięcia wyjściowego prądnicy.*

⁴ *Prąd zwrotny – prąd stały płynący z pokładowej baterii akumulatorowej do prądnicy. Jest to stan odwrotnego przepływu energii i może być tolerowany jedynie krótkotrwale.*

⁵ *Latem w Iraku autorzy często notowali temperaturę $+55^{\circ}\text{C}$ w cieniu. Dlatego niedopuszczalne jest długotrwałe wystawianie baterii akumulatorowych na działanie promieniowania słonecznego. Według praktyków temperatura przekracza wówczas $+80^{\circ}\text{C}$.*

operacyjnych brakuje czasu na co miesięczne kontrolne rozładowanie, które oprócz dostarczenia informacji o wartości pojemności baterii powoduje też „samooczyszczenie” baterii. Jest to kardynalny błąd eksploatacyjny, gdyż po zamontowaniu na pokładzie, podczas lotu są one ponownie doładowywane. Jeszcze większym błędem jest zbyt intensywne dolewanie wody destylowanej. Faktem jest, że w warunkach podwyższonej temperatury wzrasta intensywność parowania wszelkich cieczy. Zbyt niski poziom elektrolitu zwłaszcza jeśli część płyt elektrycznie czynnych zostaje wystawiona na bezpośrednie oddziaływanie powietrza to znacznie zmniejszona pojemność a nawet nieodwracalne uszkodzenia (‘zasiarczenie’). Jednakże zbyt wysoki poziom elektrolitu to brak przestrzeni kompensacyjnej dla pęcherzyków gazu wydobywających się podczas oddawania lub (w mniejszym stopniu) pobierania energii elektrycznej. Intensywność gazowania wzrasta podczas lotu w rozrzedzonym powietrzu np. w związku ze wzrostem wysokości lotu. Następuje intensywne gazowanie elektrolitu (w kwasowych bateriach ołowiowych następuje wydzielanie się wodoru, w zasadowych tlenu), co powoduje jego wydobywanie się przez zawory odpowietrzające. Jednocześnie wraz z wodorem wydobywa się mgła elektrolitu. Osiada ona na elementach wokół zaworów odpowietrzających baterii m.in. na kablach elektrycznych w pojemniku-kontenerze (rys. 1).

Rys. 1. Rozmontowany pojemnik akumulatorowy kwasowej ołowiowej baterii akumulatorowej 12SAM-28 śmigłowca Mi-8: 1 – korpus pojemnika akumulatorowego, 2 – końcówka oczkowa przewodu minusowego pojemnika akumulatorowego, 3 – miejsce penetracji kropli elektrolitu do przestrzeni pomiędzy warstwą izolacji podstawowej przewodu elektrycznego a dodatkową igielitową koszulką izolacyjną, 4 – wkładka izolacyjna pojemnika akumulatorowego z wmontowanym elementem grzeijnym, 5 – miejsce przetarcia warstwy izolacyjnej przez grzejnik.

Rys. 2 Przewód elektryczny pojemnika akumulatorowego – miejsce penetracji elektrolitu:

a) widok ogólny końcówki przewodu minusowego,

b) rysunek poglądowy sposobu zasysania kondensatu elektrolitu i zwarć z końcówką kablową:

1 – końcówka kablowa przewodu elektrycznego, 2 – żyła przewodząca przewodu elektrycznego, 3 – elektrolit w przestrzeni pomiędzy warstwą izolacji podstawowej przewodu elektrycznego a dodatkową igielitową koszulką izolacyjną, 4 – koszulka do oznaczania biegunowości, 5 – dodatkowa igielitowa koszulka izolacyjna, 6 – warstwa izolacji podstawowej przewodu elektrycznego

Na przewody elektryczne są nasunięte rurki igelitowe w celu zwiększenia odporności izolacji zewnętrznej na ścieranie. Krople elektrolitu często dostają się pomiędzy powierzchnię wewnętrzną rurki igelitowej a powierzchnię przewodu elektrycznego. Na skutek zjawiska woskowatości powierzchnia kondensatu elektrolitu podnosi się, powodując jego połączenie z zaciskiem elektrycznym „+” danego przewodu elektrycznego (rys. 2). Jeżeli teraz objętość kondensatu elektrolitu połączy się z obudową baterii akumulatorowej na skutek pęknięcia izolacji, to następuje samorozładowanie.

2. Kłopoty z rozruchami silników lotniczych w warunkach Iraku

Opis problemu

Przebieg zdarzenia lotniczego polegającego na nieudanym rozruchu śmigłowca Mi-8 w Bagdadzie na początku kwietnia 2007 r. był następujący: Po krótkim locie (ok. 45 min) z bazy w Diwanii do Bagdadu, postój śmigłowca trwał ok. 5 h z pozostawionymi na pokładzie bateriami akumulatorowymi, wszystkie odbiorniki wyłączono. Po postoju próba rozruchu z pokładowych baterii akumulatorowych się nie powiodła – zaobserwowano przygasanie żarówek sygnalizacji pokładowej oraz znaczne spadki napięcia na woltomierzu pokładowym. W związku z powyższym rozruch przerwano. Z bazy w Al-Kud dostarczono dodatkowy komplet baterii akumulatorowych – wykonano rozruch silników głównych z pokładowych baterii akumulatorowych i bez przeszkód kontynuowano lot.

Badania

W związku z powyższymi faktami zaistniało podejrzenie samorozładowania niektórych baterii akumulatorowych. Poddano badaniom 19 pojemników akumulatorowych – wykonano pomiary:

- 1) Spadków napięć na połączeniach wewnętrznych (tablica 1) – bez uwag.
- 2) Rezystancji izolacji poszczególnych obwodów (tablica 2) – stwierdzono, że na 19 przedstawionych do badań pojemników baterii akumulatorowych, 9 miało zmniejszoną wartość rezystancji, poniżej 1 MΩ.
- 3) W niektórych przypadkach obniżona rezystancja izolacji została zaobserwowana zarówno między korpusem pojemnika a zaciskiem plusowym, jak i zaciskiem minusowym.
- 4) Dokonano przeglądu elementów elektrycznych pojemników o obniżonej rezystancji izolacji. Stwierdzono, że przyczyną obniżenia rezystancji izolacji (pomiędzy danym zaciskiem gniazda pojemnika a jego korpusem) jest elektrolit otulający warstwę izolacji podstawowej (oplot bawełniany przesycony lakierem silikonowym) przewodu elektrycznego. Elektrolit ten utrzymuje się pomiędzy dodatkową koszulką izolacyjną a izolacją podstawową.
- 5) Dokonano przeglądu wkładek izolacyjnych pojemników akumulatorowych. Stwierdzono, że niektóre z nich mają ciemne plamy, które okazały się miejscem przetarcia warstwy izolacyjnej aż do elementu przewodzącego pojemnika akumulatorowego (rys. 3).

Ponadto należy zaznaczyć, że kilka obwodów minusowych pokładowych baterii akumulatorowych miało zwiększoną rezystancję przekraczającą poziom dopuszczalny.

Tablica 1. Spadki napięć na przewodach elektrycznych w pojemnikach akumulatorowych

Lp	Nr taktyczny na kontenerze	Nr fabryczny pojemnika (wewnętrzna strona pojemnika)	Spadek napięcia na przewodzie		Spadek napięcia na końcówce przewodu	
			ΔU_{++} mV	ΔU_{--} mV	ΔU_{+k} mV	ΔU_{-k} mV
1	-	5075.170.0000 nr 109/02	5,2	7,6	0,7	0,7
2	-	5075.170.0000 nr 103/02	5,2	7,6	0,7	0,7
3	-	5075.170.0000 nr 767	6,2	7,0	0,7	0,7
4	-	5075.170.0000 nr 73/02	6,2	7,7	0,7	0,7
5	-	5075.170.0000 nr 52/02	4,9	8,2	0,7	0,7
6	-	5075.170.0000 nr 19	4,4	7,5	0,7	0,7
7	641	5075.170.0000 nr 92/02	6,0	7,3	0,4	0,4
8	641	5075.170.0000 nr 10/2002	5,3	7,6	0,5	0,5
9	641	5075.170.0000 nr 11/2002	8,9	8,1	0,6	0,1
10	639	5075.170.0000 nr 10	5,7	7,1	0,4	0,5
11	641	5075.170.0000 nr 15/2002	7,0	9,0	0,5	0,4
12	128	5075.170.0000 nr 12	4,8	7,1	1,1	1,2
13	645	5075.170.0000 nr75/02	5,2	7,3	0,5	0,6
14	141	5075.170.0000 nr 14	5,7	7,4	1,0	1,1
15	2EL	5075.170.0000 nr 15	5,3	7,0	1,4	1,2
16	653	5075.170.0000/1	5,6	7,9	0,4	0,5
17	641	5075.170.0000 nr 55/02	9,1	4,2	0,4	0,5
18	KZ III	5075.170.0000 nr 18	5,8	7,8	1,1	1,1
19	KZ III	5075.170.0000 nr 19	5,8	7,4	1,0	1,1

Analiza

1. Obniżona rezystancja izolacji zaobserwowana dla niektórych pojemników, zarówno między korpusem pojemnika a zaciskiem plusowym, jak i zaciskiem minusowym, może powodować ubytki energii elektrycznej w czasie postoju. Wartość natężenia prądu samorozładowania może osiągnąć poziom szacunkowy ok. 30 mA i w ciągu 5 h postoju może stać się przyczyną zmniejszenia pojemności baterii akumulatorowej ok. 0,15 Ah. Taki ubytek pojemności nie powinien w istotny sposób wpłynąć na zmniejszenie zdolności rozruchowych zespołu pokładowych baterii akumulatorowych.
2. W niektórych przypadkach (tablica 2) stwierdzono obniżoną rezystancję pomiędzy masą elektryczną pojemnika akumulatorowego a elementem grzejnym pojemnika.

Tablica 2. Rezystancja izolacji w pojemnikach akumulatorowych

Lp	Nr taktyczny na kontenerze	Nr fabryczny pojemnika (wewnętrzna strona pojemnika)	Rezystancji izolacji pomiędzy oczkiem przewodu a korpusem pojemnika		
			Zacisk dodatni R_{iz++}	Grzejnik tj. „k” gniazda wtykowego R_{iz+k}	Zacisk ujemny R_{iz--}
			MΩ	MΩ	MΩ
1	-	5075.170.0000 nr 109/02	0,2	0,4	0,4
2	-	5075.170.0000 nr 103/02	150,0	150,0	0,1
3	-	5075.170.0000 nr 767	∞	∞	∞
4	-	5075.170.0000 nr 73/02	18,0	17,0	1,4
5	-	5075.170.0000 nr 52/02	∞	∞	∞
6	-	5075.170.0000 nr 19	∞	∞	0,1
7	641	5075.170.0000 nr 92/02	∞	∞	∞
8	641	5075.170.0000 nr 10/2002	∞	∞	124,0
9	641	5075.170.0000 nr 11/2002	∞	∞	∞
10	639	5075.170.0000 nr 10	∞	∞	0,1
11	641	5075.170.0000 nr 15/2002	∞	∞	153,0
12	128	5075.170.0000 nr 12	∞	∞	0,1
13	645	5075.170.0000 nr 75/02	0,5	0,7	0,6
14	141	5075.170.0000 nr 14	0,9	1,0	0,5
15	2EL	5075.170.0000 nr 15	∞	∞	0,4
16	653	5075.170.0000/1	∞	∞	0,1
17	641	5075.170.0000 nr 55/02	∞	75,0	75,0
18	KZ III	5075.170.0000 nr 18	63,0	∞	∞
19	KZ III	5075.170.0000 nr 19	191,0	∞	∞

Bliższe oględziny umożliwiły wykrycie miejsca przetarcia wkładki izolacyjnej oraz odpowiadające mu geometrycznie miejsce przetarcia lakieru na korpusie pojemnika akumulatorowego (rys. 1 szczególnie 4). Ponieważ każdy element grzejny jest przyłączony jednym swym końcem do zacisku minusowego (drugi koniec do gniazda „K”⁶), więc obniżona rezystancja zacisku plusowego daje obwód zwarcia. Ponieważ średnio statystycznie przetarcia występują w połowie długości elementu grzejnego o prądzie znamionowym $I = 0,4$ A, więc wartość

⁶ Zacisk „K” zamyka obwód sterujący stycznika załączającego styki główne stycznika (od rosyjskiego kontaktora) załączającego w kabinie pilotów sygnalizację podłączenia pokładowej baterii akumulatorowej.

prądu przywarcia mogła dochodzić do 400 mA. Taka wartość natężenia prądu dla czasu postoju $t = 5$ h odpowiada $\Delta Q = 2$ Ah, tj. ok. 7% pojemności znamionowej baterii akumulatorowej. Jeżeli wszystkie trzy pojemniki pokładowych baterii akumulatorowych o przetartych elementach grzejnych (wymienione w tablicy 2) znajdowały się na pokładzie śmigłowca Mi-8 nr 10622 w chwili wystąpienia zdarzenia lotniczego, to mogło to w wydatny sposób wpłynąć na zmniejszenie zdolności rozruchowej.

3. Zważywszy, że kilka obwodów minusowych pokładowych baterii akumulatorowych miało zwiększoną rezystancję przekraczającą poziom dopuszczalny (tablica 2), efektywność wykorzystania pozostałych baterii akumulatorowych w chwili rozruchu mogła być poważnie ograniczona.
4. Przy wstępnie nierównomiernie naładowanych pokładowych bateriach akumulatorowych w chwili załączenia pokładowych odbiorników energii elektrycznej występują znaczne straty mocy wydzielające się w postaci ciepła w związku z „wyrównywaniem energii” pomiędzy równoległe⁷ połączonymi bateriami.
5. Zdarza się, że do wnętrza ogniów akumulatorowych dolewane jest często zbyt dużo wody destylowanej. W normalnych warunkach lotu pokładowe baterie akumulatorowe ulegają systematycznemu doładowywaniu. Jednocześnie w podwyższonej temperaturze otoczenia ładowanie przebiega znacznie szybciej niż w niższej („normalnej”) temperaturze otoczenia. W związku z tym zwiększa się intensywność gazowania elektrolitu wewnątrz cel baterii akumulatorowych. W czasie lotu w warunkach obniżonego ciśnienia atmosferycznego gazowanie ulega intensyfikacji. Krople elektrolitu podczas ładowania w czasie lotu wydostają się przez zawory odpowietrzające i dostają się do pojemnika baterii akumulatorowej. Kondensują się m.in. na przewodach elektrycznych przyłączonych do zacisków baterii akumulatorowej, gdzie przeważnie odparowują i zamieniają się w kryształy bezwodnika kwasu siarkowego. Część kropeł spływa po końcówce przewodów elektrycznych i po żyłę przewodzącej, dostając się pomiędzy warstwę izolacji podstawowej przewodu elektrycznego, a dodatkową igielitową koszulkę izolacyjną. Z uwagi na znikomo małą powierzchnię parowania i siły napięcia powierzchniowego oraz zjawisko włoskowatości elektrolit ten praktycznie nie wysycha ani nie ulega przemieszczeniu pod wpływem sił ciężkości. Ponadto ta objętość elektrolitu, zamknięta pomiędzy powierzchniami izolacyjnymi, często łączy się z żyłą przewodzącą danego przewodu elektrycznego (rys. 2b).
6. Jeżeli objętość elektrolitu zamknięta pomiędzy powierzchniami izolacyjnymi danego przewodu elektrycznego połączy się z obudową na skutek np. mikropęknięcia izolacji, to następuje połączenie potencjału zacisku biegunowego baterii akumulatorowej z masą obudowy pokładowej baterii akumulatorowej.

⁷ Dlatego wiele firm lotniczych zamiast kilku pokładowych baterii akumulatorowych instaluje jedną baterię akumulatorową o odpowiednio większej mocy.

7. Jeżeli w przewodzie różnoimiennym od danego przewodu nastąpi podobne zjawisko, to następuje przepływ prądu rozładowania o wartości zależnej wprost proporcjonalnie od wartości rezystancji obwodu pomiędzy biegunami pokładowej baterii akumulatorowej.
8. W konsekwencji po zaistnieniu ww. łańcucha zjawisk pojemność baterii jest na tyle niska, że nie można wykonać z nich rozruch statku powietrznego.

3. Wnioski

1. Pokładowe baterie akumulatorowe w czasie lotu ulegają systematycznemu doładowywaniu.
2. W podwyższonej temperaturze otoczenia ładowanie przebiega znacznie szybciej niż w niższej („normalnej”) temperaturze.
3. Z uwagi na podwyższone temperatury otoczenia parowanie elektrolitu przebiega szybciej co powoduje, że obsługa dolewa zapobiegawczo zbyt dużo wody destylowanej – powoduje to wzmożone gazowanie elektrolitu.
4. Podczas lotu w warunkach obniżonego ciśnienia gazowanie elektrolitu intensyfikuje się.
5. Krople elektrolitu osadzają się na elementach czynnych elektrycznie, powodując zmniejszenie rezystancji izolacji.
6. Część kropeł spływa po końcówce przewodów elektrycznych i po żyłę przewodzącą, dostając się do przestrzeni pomiędzy warstwą izolacji podstawowej przewodu elektrycznego a dodatkową igielitową koszulką izolacyjną. Elektrolit ten może utrzymywać się długotrwale dzięki zjawisku włoskowatości.
7. Elektrolit, pomiędzy warstwą izolacji podstawowej przewodu elektrycznego, a dodatkową igielitową koszulką izolacyjną, często łączy się elektrycznie z jednym z zacisków akumulatora i masą elektryczną pojemnika akumulatorowego (rys. 2b).
8. Stwierdzono, dla kilku pojemników akumulatorowych, przetarcie elementu grzejnego⁸ i przywarcie do masy elektrycznej pojemnika. Elementy grzejne są na stałe przytwierdzone do gniazda minusowego baterii akumulatorowej.

⁸Element grzejny pokładowej baterii akumulatorowej – drut wykonany z materiału o znacznej rezystancji właściwej, zamontowany w pojemniku-kontenerze (zazwyczaj pomiędzy dwiema warstwami włókna szklanego zaimpregnowanego żywicą epoksydową). Element grzejny jest stosowany do ogrzewania pokładowej baterii akumulatorowej czasie dyżuru bojowego podczas temperatury otoczenia poniżej -5°C . Wówczas to element grzejny jest zasilany z lotniskowego źródła zasilania. Na skutek błędów wykonawczych notowane były częste uszkodzenia płótna szklanego powodujące przywieranie elementu grzejnego do masy pojemnika-kontenera. Zdaniem autorów było to częstą przyczyną samorozładowania pokładowej baterii akumulatorowej. Swoją drogą stosowanie grzejników pokładowej baterii akumulatorowej w rejonie, gdzie temperatura otoczenia nigdy nie obniża się poniżej 0°C (w okresie zimowym autorzy zanotowali w południe temperaturę $+18^{\circ}\text{C}$), było nieporozumieniem. Dlatego autorzy, na swoją odpowiedzialność, odłączyli elementy grzejne.

9. Jednoczesne zmniejszenie rezystancji występujące w obwodach różniamiennych może spowodować znaczący prąd samorozładowania pokładowej baterii akumulatorowej.
10. Zbyt niska pojemność baterii akumulatorowych uniemożliwia wykonanie rozruchu – podczas przebywania SP na terenie kontrolowanym przez nieprzyjaciela stanowi to istotne zagrożenie dla wykonania zadania bojowego oraz dla bezpieczeństwa załogi.

Propozycje zaleceń profilaktycznych

1. Podczas przeglądu technicznego odciąć i zabezpieczyć końcówkę żyły przewodzącej obwód elektryczny grzejników pojemników akumulatorowych w miejscu ich przyłączenia do gniazda minusowego.
2. Podczas przeglądu technicznego sprawdzić megaomierzem rezystancję izolacji pomiędzy:
 - korpusem pojemnika a gniazdem stykowym plusowym,
 - korpusem pojemnika a gniazdem stykowym „K” (obwód grzejnika pojemnika akumulatorowego),
 - korpusem pojemnika a gniazdem stykowym minusowym,
 - gniazdem stykowym plusowym a gniazdem stykowym minusowym,
 - gniazdem stykowym plusowym a gniazdem stykowym „K”.Wartość rezystancji nie powinna być mniejsza niż 20 MΩ.
3. Zdjąć z każdego przewodu elektrycznego igielitową koszulkę izolacyjną. Przewód przetrzeć tkaniną bawełnianą zmoczoną w spirytusie i zabezpieczyć przed przetarciem w miejscach mocowania chomątek lub miejscach ocierania się o krawędzie obudowy, za pomocą taśmy izolacyjnej samowulkanizującej się dopuszczanej do zastosowania lotniczego.
4. Sprawdzić rezystancję izolacji – powinna być nie mniejsza niż 20 MΩ.
5. W obsługach naziemnych zakazać ładowania, doładowywania lub rozładowywania baterii w pojemnikach (kontenerach) akumulatorowych – do tych czynności baterie muszą być obowiązkowo wyjmowane.
6. Pouczyć personel latający, że zgodnie z instrukcjami lotniczymi oraz z praktyką badawczą ITWL, działanie instalacji elektrycznej każdej prądnicy prądu stałego, np. zamontowanej na pokładzie śmigłowca Mi-8 prądnicy-rozrusznika GS-18MO wszystkich wersji, jest zagwarantowane przy odłączeniu pokładowej baterii akumulatorowej. Jednocześnie po odłączeniu baterii możliwe jest dokładniejsze zdiagnozowanie węzła elektroenergetycznego. W związku z tym:
 - sprawdzanie wartości napięcia prądnic pokładowych powinno odbywać się przy wyłączonych bateriach akumulatorowych,
 - wartość napięcia na wskaźniku nie powinna przekraczać 28,5 V.
7. Wymagać od personelu naziemnego przeprowadzania raz na miesiąc cyklu pełnego rozładowania, tzw. kontrolnego rozładowania lotniczej pokładowej baterii akumulatorowej.

8. Dążyć do zastąpienia lotniczych baterii kwasowych bateriami zasadowymi na statkach powietrznych działających w warunkach intensywnych warunkach misji wojskowych.
9. W celu poprawy niezawodności pracy styków wysokoprądowych zamienić złącza prądowe standardu rosyjskiego na złącza wysokoprądowe standardu NATO.

4. Złącza wysokoprądowe pokładowych baterii akumulatorowych

Każda pokładowa bateria elektryczna musi być połączona z pokładową siecią elektryczną. Baterie pokładowe są zazwyczaj wsuwane po odpowiednich przewodnicach. Istotne jest poprawne zamknięcie obwodu prądowego przy pomocy złącza wysokoprądowego. W złączu tym tuleje stykowe umieszczone są „sztywno” na pojemniku-kontenerze, zaś kołki stykowe na pokładzie SP. Cały pojemnik-kontener jest wsuwany po przewodnicach i blokowany mechanicznie za pomocą sworzni blokady mechanicznej (rys. 3, szczegół B). W przypadku eksploatacyjnego zużywania się elementów przewodnic lub sworzni powstają luzy podłużne umożliwiające przemieszczanie się pojemnika-kontenera po przewodnicach. Jednocześnie przemieszczają się (sztywno przymocowane do pojemnika-kontenera) tuleje stykowe złącza wysokoprądowego. Tymczasem kołki stykowe pozostają nadal związane sztywno z pokładem statku powietrznego. Tak więc powstają luzy pomiędzy powierzchniami stykowymi. Luzy te zmieniają się podczas wibracji płatowca w czasie lotu. Powoduje to intensywne iskrzenie pomiędzy powierzchnią tulei stykowej a kołkami stykowymi złącza wysokoprądowego.

W historii powojennego lotnictwa wojskowego, pokładowe kwasowe baterie akumulatorowe (na samolotach typu Lim-1÷6 czy MiG-15÷19⁹) do sieci prądu stałego podłączano śrubami. Jednakże utrudniało to szybkie i sprawne przekazywanie baterii akumulatorowych do stacji obsługi akumulatorów, a także wymianę pokładowej baterii akumulatorowej w razie jej awarii. Z chwilą wprowadzenia do Polski samolotów MiG-21 z zasadowymi bateriami srebrowo-cynkowymi, zastosowano po raz pierwszy złącza wysokoprądowe szybko-rozłączne zbliżone do standardów NATO.

Pokładowe baterie kwasowe eksploatowane w lotnictwie Sił Zbrojnych RP mają dodatkowe pojemniki-kontenery (rys. 1). Zaciski elektryczne kwasowej baterii akumulatorowej są połączone z okablowaniem pojemnika-kontenera śrubami. Połączenie to nie sprawia eksploatacyjnych zagrożeń. Jednakże do kolejnego połączenia elektrycznego – pomiędzy pojemnikiem-kontenerem a pokładową siecią elektryczną – stosuje się złącze wysokoprądowe „starego” systemu, które powodują iskrzenie opisane powyżej.

Baterie zasadowe nie mają pojemnika-kontenera. Są one montowane bezpośrednio na pokład statku powietrznego i przyłączane do elektrycznej sieci pokładowej.

Kołki akumulatorowe, zarówno baterii akumulatorowych kwasowych, jak i zasadowych, są wlutowywane do przewodów lotniczych i mocowane w sposób

⁹ Prawdopodobnie udział tych typów samolotów w wojnie w Wietnamie już dostarczał sygnałów o konieczności zamiany połączeń śrubowych pokładowych baterii akumulatorowych na złącza szybko-rozłączne.

trwały do konstrukcji statku powietrznego. W czasie lotu baterie akumulatorowe doznają wibracji. W statkach powietrznych po kilkunastoletnich okresach eksploatacji, pojawiają się luzy w elementach mocujących baterie akumulatorowe do kadłuba statku powietrznego, co znacznie zwiększa amplitudę wibracji tych baterii. Powoduje to przemieszczanie się gniazd stykowych baterii względem kołków w czasie lotu. Ponieważ przez połączenie to zwykle płynie prąd (w czasie lotu bateria zwykle jest doładowywana przez prądnicę), następuje iskrzenie i wypalanie się styków. Na zdjęciu (rys. 4) można wyróżnić trzy poziomy zużycia kołków stykowych: niski, średni i wysoki.

Warunki eksploatacji styków „starego” systemu są nieco łagodzone przez zapewnienie pewnego luzu promieniowego kołków i tulei stykowych. Dzięki temu powierzchnia stykowa kołków złącza wysokoprądowego ma szansę lepiej przylegać do powierzchni stykowej tulei stykowej. Niemniej przypadki wypaleń tych powierzchni są notowane przez autorów bardzo często zwłaszcza dla styków zużytych mechanicznie o znacznych luzach promieniowych.

Zupełnie inna konstrukcja złącza wysokoprądowego wykonanego według standardów NATO stosowana w krajach zachodnioeuropejskich oraz USA.

Rys. 3 Pokładowa kwasowa bateria akumulatorowa z pojemnikiem-kontenerem na pokładzie SP ze złączem wysokoprądowym spełniającym standardy rosyjskie:

1 – kwasowa lotnicza bateria akumulatorowa, 2 – zacisk śrubowy łączący biegun baterii kwasowej z przewodem elektrycznym pojemnika-kontenera, 3 – przewód elektryczny pojemnika-kontenera, 4 – izolator złącza wysokoprądowego pojemnika-kontenera, 5 – tuleja stykowa złącza wysokoprądowego pojemnika-kontenera, 6 – kołek stykowy złącza wysokoprądowego (przymocowany do konstrukcji płatowca statku powietrznego), 7 – przewód elektryczny przylutowany do kołka stykowego wysokoprądowego, 8 – sworzeń blokady mechanicznej, 9 – otwór w prowadnicy współpracujący ze sworzniem blokady mechanicznej, 10 – prowadnice przymocowane do konstrukcji statku powietrznego.

Rys. 4 Kolek stykowy złącza wysokoprądowego (przymocowany do konstrukcji płatowca statku powietrznego): 1 – o niskim stopniu zużycia, 2 – o średnim stopniu zużycia, 3 – o wysokim stopniu zużycia, 4 – miejsca połączenia (lutowania) żył przewodzących.

Rys. 5 Pokładowa bateria akumulatorowa z pojemnikiem-kontenerem na pokładzie SP ze złączem wysokoprądowym spełniającym standardy NATO: 1 – lotnicza bateria akumulatorowa, 2 – zacisk śrubowy łączący biegun baterii z przewodem elektrycznym pojemnika-kontenera, 3 – przewód elektryczny pojemnika-kontenera, 4 – izolator złącza wysokoprądowego pojemnika-kontenera, 5 – kolek stykowy złącza wysokoprądowego pojemnika-kontenera, 6 – tuleja stykowa swobodnego złącza wysokoprądowego, 7 – przewód elektryczny przyłutowany do kolka stykowego swobodnego złącza wysokoprądowego, 8 – sworzeń blokady mechanicznej, 9 – otwór w przewodnicy współpracujący ze sworznem blokady mechanicznej, 10 – przewodnice przymocowane do konstrukcji statku powietrznego, 11 – śruba mocująca swobodnego złącza wysokoprądowego, 12 – swobodnego złącze wysokoprądowe, 13 – tuleja gwintowana współpracująca ze śrubą mocującą swobodnego złącza wysokoprądowego, 14 – gałka (uchwyt) śruby mocującej swobodnego złącza wysokoprądowego.

a)

b)

Rys. 6 Pokładowa bateria akumulatorowa ze złączem ruchomym spełniającym standardy NATO: a) część ruchoma, b) część nieruchoma, 1 – lotnicza bateria akumulatorowa, 4 – izolator złącza wysokoprądowego pojemnika-kontenera, 5 – kolek stykowy złącza wysokoprądowego pojemnika-kontenera, 6 – tuleja stykowa swobodnego złącza wysokoprądowego, 7 – przewód elektryczny przylutowany do kolka stykowego swobodnego złącza wysokoprądowego, 8 – bolec blokady mechanicznej, 12 – swobodne złącze wysokoprądowe, 13 – tuleja gwintowana współpracująca ze śrubą mocującą swobodnego złącza wysokoprądowego, 14 – galka (uchwyt) śruby mocującej swobodnego złącza wysokoprądowego, 15 – końcówki przewodu elektrycznego (przylutowanego z drugiej strony do kolka stykowego swobodnego złącza wysokoprądowego).

5. Podsumowanie, wnioski

Lotnicza pokładowa bateria akumulatorowa pełni potrójną funkcję w strukturze funkcjonalnej statku powietrznego:

- służy do rozruchu silnika głównego statku powietrznego,
- współpracuje (praca buforowa) z głównymi prądnicami pokładowymi (napędzanymi z silnika głównego statku powietrznego),
- zasila pokładową sieć elektryczną w czasie awarii głównych prądnic pokładowych.

Pełnienie tak odpowiedzialnych funkcji wymaga w każdych warunkach dużej sprawności lotniczej baterii akumulatorowej. W niniejszym artykule skupiono się na przypadkach niespełniania pierwszej z wymienionych funkcji.

Stwierdzono, że „nadopiekuńcze” dolewanie nadmiernej ilości wody destylowanej podczas obsługi naziemnych jest karygodnym błędem wynikającym z powszechnej nieznajomości ich właściwości. Wraz ze wzrostem wysokości następuje wydzielanie się gazów i osiadaniu kropeł elektrolitu na elementach baterii. Obniża to rezystancję izolacji i powoduje samorozładowanie się pokładowych baterii akumulatorowych. Wówczas pojemność baterii obniża się - podczas rozruchu statku powietrznego na zaciskach rozrusznika jest zbyt niskie napięcie. W związku z tym rozruch może być przerwany. Jest to szczególnie istotne w przypadku konieczności szybkiego rozruchu statku powietrznego z przegrodowego lądowiska pozbawionego infrastruktury lotniskowej. W warunkach działań wojennych jest to często sprawą szczególnie istotną.

Przyczyny samorozładowania możemy podzielić na trzy grupy:

- zanieczyszczenie powierzchni lotniczej baterii akumulatorowej kondensatem elektrolitu (spowodowane najczęściej zbyt intensywnym gazowaniem),
- zwarcie w pojemniku-kontenerze na skutek przetarć izolacji (np. przetarcia izolacji grzejników pojemnika-kontenera) lub przedostania się elektrolitu pomiędzy kable elektryczne a rurkę osłonową tych kabli,
- zwarcia wewnętrzne w ogniwach akumulatorowych, których najczęstszymi przyczynami są uszkodzenia separatorów.

Aby temu przeciwdziałać należy:

- dbać o czystość lotniczych baterii akumulatorowych oraz ich bezpośredniego otoczenia na pokładzie wojskowego statku powietrznego,
- unikać nakładania dodatkowych koszulek izolacyjnych na przewody elektryczne wokół baterii akumulatorowej – w przypadku konieczności wzmocnienia izolacji na ścieranie stosować przewody o izolacji dwuwarstwowej wykonanej w zakładzie produkcyjnym metodą „na gorąco”,
- unikać przeładowywania pokładowych baterii akumulatorowych,
- systematycznie sprawdzać rezystancję grzejników pojemników-kontenerów akumulatorowych,
- w strefach klimatycznych, gdzie temperatura nie spada poniżej -5°C , odłączać elementy grzejne od pokładowej baterii akumulatorowej.

Przyczyna braku rozruchu statku powietrznego, jak wspomniano, może wynikać również ze zużycia eksploatacyjnego elementów pojemnika-kontenera tej baterii jak i zwiększonych spadków napięcia w obwodach elektrycznych łączących tą baterię z układem rozruchu i zapłonu. W związku z tym należy wyszczególnić dodatkowe „zewnątrzne” przyczyny:

- a) nadmierne spadki napięcia na zworach styczników w obwodzie rozruchu (w plusowym obwodzie lotniczej pokładowej baterii akumulatorowej),
- b) nadmierną rezystancję przyłączy kabli minusowych lotniczej pokładowej baterii akumulatorowej do kadłuba statku powietrznego,
- c) nadmierną rezystancję styków wysokoprądowych.

W przypadku a) i b) w celu zidentyfikowania uszkodzonych elementów wykonuje się pomiary rezystancji styków i rezystancji przyłączy minusowych. Wykonywane są one metodą techniczną przez autorów m.in. podczas przedłużania resursów instalacji elektroenergetycznych wojskowych statków powietrznych. Umożliwia to w stosunkowo prosty sposób utrzymywanie instalacji elektroenergetycznej w dobrej kondycji technicznej. Z w.w. zagadnieniami autorzy spotkali się w trakcie realizacji prac badawczych w warunkach misji wojskowej w Iraku i Afganistanie. To tam zdarzały się m.in. przypadki blokowania się ruchu zwory styczników rozruchowych na skutek zbierania się drobnoziarnistego piasku. Ostatni przypadek c) dotyczy, praktycznie biorąc, układu styków wysokoprądowych o „starym” standardzie – dla złączy wykonanych według standardów NATO autorzy nie zanotowali takich przypadków.

6. Literatura

- [1] *Akumulatory zasadowe, srebrowo-cynkowe i kwasowe – dane znamionowe i zasady uruchamiania, eksploatacji, konserwacji oraz przechowywania*. Syg. Łączn. 396/69, Ministerstwo Obrony Narodowej – Szefostwo Wojsk Łączności, Wydawnictwo Ministerstwa Obrony Narodowej 1970.
- [2] Gębura A., Radoń T.: *Uszkodzenia prądnic i styczników lotniczych w trudnych warunkach operacyjnych na przykładzie Iraku i Afganistanu*. „Prace Naukowe ITWL” 2012, z. 30 – w druku.
- [3] Gębura A., Tokarski T.: *Ocena zasobu pracy przewodów elektrycznych sieci pokładowych statków powietrznych*, nr BT ITWL 412/50, Warszawa 2001, niepublikowane.
- [4] Masiewicz T., Paul St.: *Podstawy elektrotechniki*. Warszawa, Państwowe Wydawnictwo Szkolnictwa Zawodowego.
- [5] Norma Obronna NO-15-A200:2007 *Wojskowe Statki Powietrzne – Pokładowe układy zasilania elektrycznego. Podstawowe parametry, wymagania i badania*.
- [6] Norma Obronna NO-16-A206:2014 *Wojskowe Statki Powietrzne – Lotnicze zasadowe baterie akumulatorowe. Wymagania i badania*.

- [7] Norma Obronna NO-17-A202:2007 *Wojskowe Statki Powietrzne – Elektryczne układy rozruchu i zapłonu silników turbinowych. Podstawowe wymagania i badania.*
- [8] *Samolotowe baterie akumulatorowe 20-NKBN-25, 12SAM-55 I 12ASAM-23. Opis i eksploatacja.* Syg. Lot. 1713/76, Ministerstwo Obrony Narodowej – Dowództwo Wojsk Lotniczych, Poznań 1976.
- [9] STANAG 3660 (Edition 2) – *Aircraft storage battery electric plug.*
- [10] VG 95238 Teil 2 *Offene Nickel - Cadmium Batterien. Grundvorschrift* (niem. Baterie niklowo-kadmowe. Wymagania ogólne).

dr inż. Andrzej Gębura, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej. Adiunkt w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. Specjalizuje się elektrotechnice lotniczej. Trzykrotnie wykonywał obowiązki służbowe w Iraku (2007-2008) i raz w Afganistanie (2010).

mgr inż. Tomasz Radoń, absolwent Wojskowej Akademii Technicznej. Od 2004 roku Kierownik Pracowni Osprzętu Lotniczego w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych. W 2007 roku wykonywał obowiązki służbowe w Iraku.