

Ppłk mgr inż. Roman Skowronek  
Laboratorium Kontroli Sprzętu Lotniczego

## Pożary na samolotach odrzutowych Przyczyny i charakterystyka

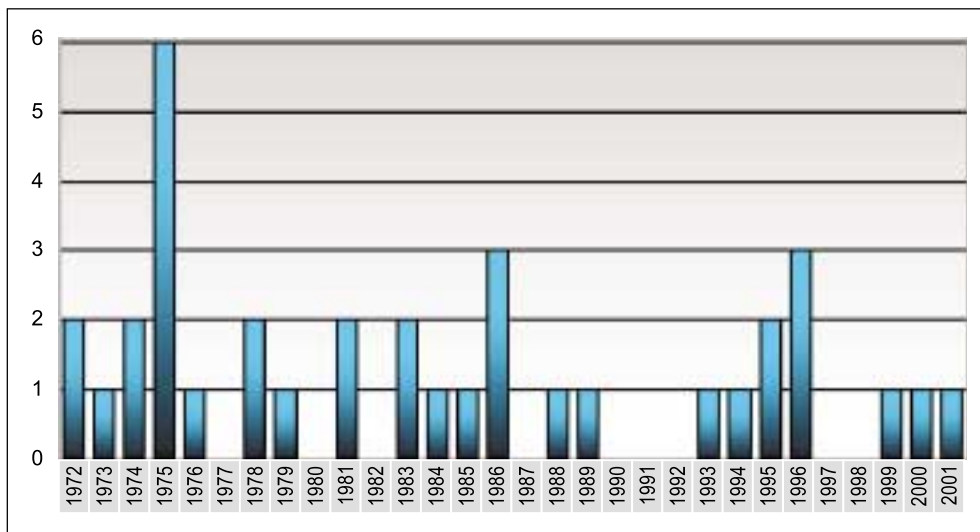
Powstanie pożaru na statkach powietrznych często prowadzi do ciężkich zdarzeń lotniczych. Skutkami zapalenia się paliwa są między innymi wybuchy, uszkodzenia elementów siłowych konstrukcji i przepalenia ciałek układów sterowania.

W lotnictwie Sił Zbrojnych RP od 1972 r. zdarzyło się 36 wypadków lotniczych związanych z pożarem (lub z poważnym zagrożeniem jego wybuchem) na samolotach odrzutowych (rysunek). Nie uwzględniono w tej liczbie przypadków termicznych uszkodzeń (zniszczeń) silnika, które nie miały wpływu na płatowiec.

Spośród zarejestrowanych wypadków aż 58% stanowiły wypadki ciężkie, tzn. awarie

lub katastrofy lotnicze. W okresie ostatnich 30 lat zanotowano tylko 9 lat, w których nie zdarzył się tego typu wypadek lotniczy na samolocie odrzutowym.

Problem pożarów dotyczył głównie samolotów typu *Lim* (już wycofanych z eksploatacji), wyposażonych w silniki ze sprężarką odśrodkową, a obecnie w największym stopniu dotyczy nadal eksploatowanych samolotów *MiG-21* (wyposażonych w silniki ze sprężarką osiową). Na samolotach odrzutowych pozostałych typów, w ostatnich latach odnotowano trzy wypadki lotnicze związane z pożarem: jeden na samolocie *MiG-29* w 1993 r. oraz po jednym na samolotach *TS-11 Iskra* i *Su-22* w 1995 r.



Liczby wypadków lotniczych związanych z pożarem (lub z poważnym zagrożeniem jego wybuchem) na samolotach odrzutowych

## CHARAKTERYSTYKA WYPADKÓW LOTNICZYCH ZWIĄZANYCH Z POŻARAMI NA SAMOLOTACH MiG-21

**13 października 1994 r.** – awaria lotnicza na samolocie *MiG-21bis*. Przyczynę zaliczono do „wad produkcyjnych”.

Z powodu oznak niesprawności instalacji hydraulicznej i paliwowej pilot przerwał wykonywanie zadania i wylądował na lotnisku startu. Obserwujący to zdarzenie pilot kołującego samolotu dostrzegł jasną smugę wydobywającą się z samolotu kończącego dobieg. Natychmiast poinformował o tym kierownika lotów. Po wyłączeniu silnika i akumulatora pilot natychmiast opuścił samolot. Samolot zaczął się palić.

Przyczyną pożaru samolotu było pęknięcie wejściowego (lewego) przyłącza magistrali nadmuchu klap (fot. 1).

**29 lipca 1996 r.** – awaria lotnicza na samolocie *MiG-21bis*. Jej przyczyny zakwalifikowano do grupy „inne niewłaściwości techniczne”.

Po wystrzeleniu z działka serii pocisków nastąpiły zaburzenia w pracy silnika i instalacji hydraulicznej oraz powstał pożar w dolnej części kadłuba.

**Komisja badająca wypadek połączyła przyczynę powstania pożaru ze strzelaniem z działka.**

**3 września 1996 r.** – awaria lotnicza na samolocie *MiG-21M*, jej przyczynę określono również jako „inne niewłaściwości techniczne”.

Podczas lotu pilot usłyszał szумы w silniku. Po kilku minutach za samolotem pojawił się czarny dym, a w kabinie – sygnalizacja „pożar”. Pojawiło się też zjawisko „rzucania” tylną częścią kadłuba samolotu.

Przyczyną pożaru była wadliwa praca wtryskiwacza roboczego rury żarowej nr 1 komory spalania silnika (fot. 2, 3, 4).

**11 października 1996 r.** – awaria lotnicza na samolocie *MiG-21R*. Przyczyna awarii „inne niewłaściwości techniczne”.

Podczas startu wystąpił pożar w tylnej części samolotu (fot. 5).



Fot. 1. Pęknięte wejściowe (lewe) przyłącze magistrali nadmuchu klap



Fot. 2. Wypalenia w lewej tylnej części kadłuba samolotu



Fot. 3. Wypalone rury żarowe nr 1, 2 i 10 komory spalania silnika



Fot. 4. Wtryskiwacze robocze z wypalonych rur żarowych komory spalania silnika



Fot. 5. Opalenia poszycia kadłuba samolotu od wręgi nr 28a do wręgi nr 31

Były dwie przyczyny pożaru: nagromadzenie się paliwa w tylnej części kadłuba samolotu oraz pęknięcie kołnierza korpusu dyfuzora dopalacza silnika.

Przypadek ten jest klasycznym przykładem nałożenia się dwóch niesprawności techniki lotniczej – płatowca i silnika.

**23 maja 2000 r.** – uszkodzenie samolotu *MiG-21bis*. Jego przyczyny zostały zakwalifikowane (wątpliwie) jako „**niewłaściwa obsługa techniczna**”.

Podczas obsługi startowej stwierdzono miejscowe przegrzanie poszycia tylnej części kadłuba. Stwierdzono też obecność nitu i aluminiowego fragmentu płatowca w dyszy regulowanej oraz fragmentów wręgi nr 29 i osłony zbiornika hydraulicznego w przedziale silnika. I choć do pożaru samolotu wtedy nie doszło, to jego wybuch był tylko kwestią czasu.

**Przyczyną uszkodzenia było (prawdopodobnie) uderzenie w osłonę tylną dyszy regulowanej ramą technologiczną podczas demontowania tej ramy po wykonaniu próby silnika. Uderzenie to spowodowało, w trakcie eksploatacji samolotu, zsuniecie**

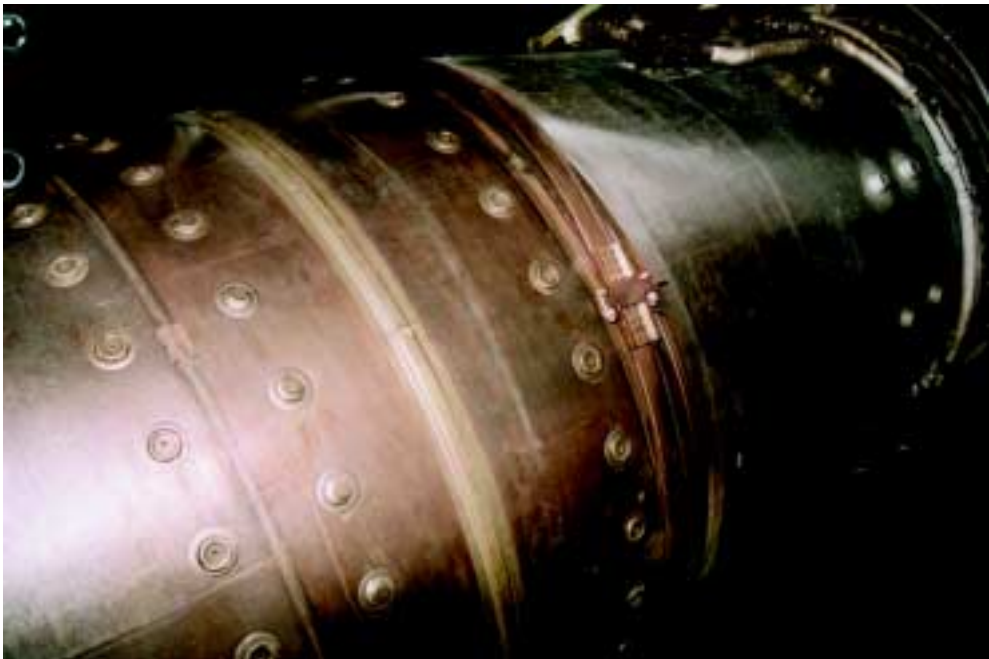
**się dzielonego pierścienia połączenia teleskopowego z dyszy regulowanej na około 2/3 obwodu i wypływanie gorących gazów z silnika, przez powstałą szczelinę, do przedziału silnika samolotu (fot. 6).**

Szkoda, że komisja dokładniej nie ustaliła przyczyny uszkodzenia (dysponowała przecież kompletnym materiałem dowodowym). Wkrótce pojawiły się bowiem wątpliwości co do wiarygodności określonej przyczyny i winy personelu technicznego. Wpłynęło to również negatywnie na skuteczność profilaktyki. Identyczny wypadek zdarzył się 8 lutego 1994 r.

**27 września 2001 r.** – awaria lotnicza samolotu *MiG-21bis*. Przyczyny awarii zostały określone jako „**inne niewłaściwości techniczne**”.

Podczas lotu nastąpił wybuch mieszanki paliwowo-powietrznej i pożar samolotu. Sygnalizacja wskazywała pozostałość paliwa – 450 l.

**Przyczyną pożaru była nieszczelność instalacji paliwowej samolotu, prawdopodobnie w płatowcu.**



Fot. 6. Pierścień połączenia teleskopowego zsunięty z górnej prawej strony dyszy regulowanej silnika

Komisji badającej ten wypadek nie udało się jednoznacznie ustalić miejsca pierwotnego wycieku paliwa z powodu zbyt małej ilości bardzo rozdrobnionych szczątków samolotu (szczególnie silnika) wydobytych z grząskiego podłoża.

### WYPADKI LOTNICZE ZWIĄZANE Z POŻARAMI NA SAMOLOTACH INNYCH TYPÓW

**12 sierpnia 1993 r.** – uszkodzenie samolotu *MiG-29*. Przyczynę uszkodzenia określono jako „wady produkcyjne”.

Podczas uruchamiania silników nastąpił zawis obrotów lewego silnika. W czasie konserwacji tego silnika, przed jego wybudowaniem z płatowca, stwierdzono wyciekanie oleju przez, powstałe wcześniej, przepalenia wewnętrznej i zewnętrznej płaszcza silnika, w rejonie głównego kolektora paliwowego doprowadzającego paliwo do komory spalania (w dolnej części silnika, blisko zbiorniczka drenazowego). Uszkodzenia tego ro-

dzaju spowodowałyby w przyszłości nieuchronnie wybuch pożaru.

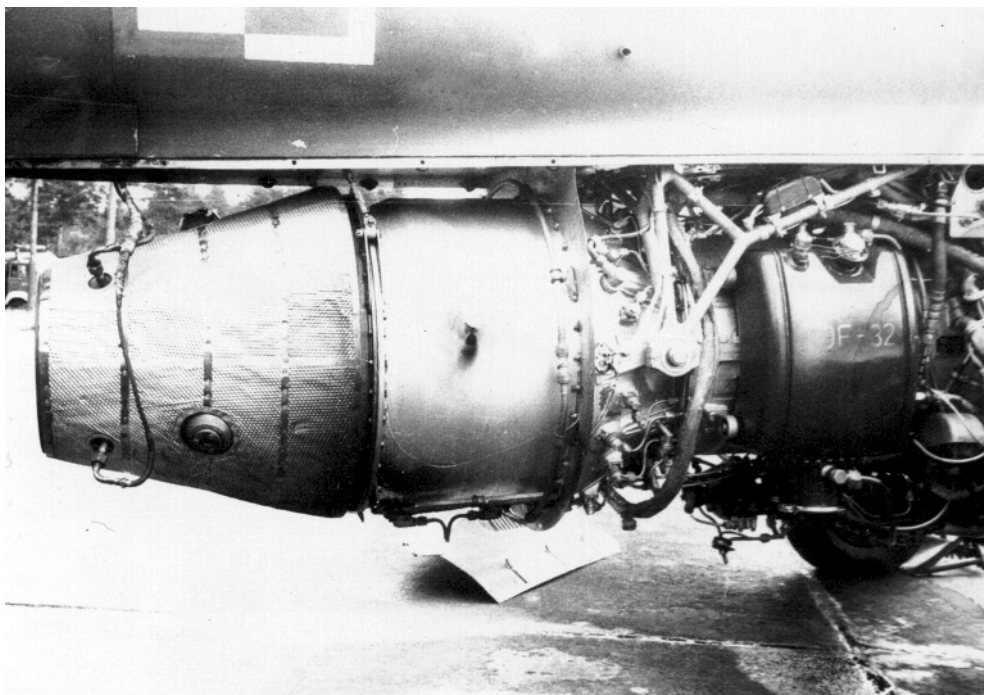
**22 czerwca 1995 r.** – uszkodzenie samolotu *TS-11 Iskra*. Przyczyny zakwalifikowano jako „inne niewłaściwości techniczne”.

Podczas próby silnika wykonywanej przez pilota przed pierwszym lotem, przy obrotach silnika wynoszących 12 000 obr./min nastąpił wyciek paliwa w dolnej części kadłuba, pod silnikiem, niedaleko przewodu drenazowego. Silnik został wyłączony. **Stwierdzono przepalenie komory spalania** (fot. 7).

W tym przypadku do wybuchu pożaru także nie doszło, ale zagrożenie pożarem z powodu uszkodzeń termicznych i równoczesnego wycieku paliwa było bardzo poważne.

**26 lipca 1995 r.** – katastrofa lotnicza samolotu *Su-22M4*. Przyczyny zakwalifikowano jako „inne”.

Pilot wykonywał lot doświadczalny na poligonie Nadarzyce. Miał rzucić 6 bomb *LBOB-250-Sz* z zapalnikiem *LUZE-90*, salwą w locie koszącym (w ramach prób zdawczo-odbiorczych próbnej partii tych bomb). Podczas



Fot. 7. Przepalona komora spalania

wykonywania powtórnego manewru przed zrzutem bomb, bomba znajdująca się pod samolotem, z lewej strony, niespodziewanie wybuchła w odległości 18 m od samolotu.

**Bezpośrednią przyczyną katastrofy był przedwczesny wybuch jednej z bomb po ich zrzuconiu podczas drugiego zajścia nad poligonem. Samolot, porażony odłamkami bomby oraz falą cieplną i uderzeniową wybuchu, natychmiast zapalił się, utracił sterowność, i po zderzeniu się z ziemią – eksplodował (fot. 8).**

Z przytoczonych przykładów wynika, że w przeważającej ilości przypadków zawiodła technika, jednak nie obyło się bez pewnego udziału czynnika ludzkiego (podczas produkcji, remontu i eksploatacji).

Wiele niebezpiecznych uszkodzeń wykrył personel służby inżynierjno-lotniczej, zapobiegając wybuchowi pożaru na statku powietrznym.

Najczęściej ognisko pożaru powstaje w silniku lub – z jego udziałem – w przedziale silnika. Nie zawsze jedyną przyczyną pożaru statku powietrznego jest niesprawność silnika. Czasem silnik stanowi jedynie źródło zapłonu, a pierwotną przyczyną pożaru jest nieuszczelnienie instalacji paliwowej lub hydraulicznej na statku powietrznym.

Przypadki wybuchu pożaru z powodu niesprawności instalacji elektrycznych i wyposażenia statku powietrznego stanowią nieduży procent ogólnej liczby pożarów.



Fot. 8. Wybuch bomby i płonący samolot

## PRZYCZYNY POWSTAWANIA OGNISK POŻARÓW NA SAMOLOTACH ODRZUTOWYCH

- przedostawanie się palnej cieczy, znajdującej się w samolocie, na nagrzane powierzchnie silnika, których temperatura przewyższa temperaturę samozapłonu tej cieczy,
- przedostawanie się gorących gazów z silnika do przedziału silnika samolotu,
- zasysanie paliwa do silnika przez sprężarkę,
- porażenie samolotu środkami bojowymi z samolotu własnego lub innego.

### Pożary spowodowane przedostawaniem się palnej cieczy na nagrzane powierzchnie silnika

Na statkach powietrznych znajdują się różnego rodzaju nafty i oleje. Temperatura ich samozapłonu zawiera się w przedziale 380 - 500°C. Zapalenie się tych cieczy może nastąpić po ich zetknięciu się z powierzchniami silnika nagrzanymi do temperatury wyższej niż 380 - 400°C. Taką temperaturę mają korpusy turbin oraz zewnętrzne powierzchnie korpusu dopalacza.

Zapalenie się palnej cieczy możliwe jest także przy jej zetknięciu z powierzchniami silnika w miejscach połączenia elementów, kiedy przez występujące szczeliny wydostają się gorące gazy o temperaturze 700 - 750°C, a nawet wyższej. Większość pożarów spowodowanych zapaleniem się palnej cieczy powstaje w okolicach dopalacza. Bardzo ważne jest zatem prawidłowe zamontowanie dyfuzora dopalacza w kadłubie. Zdarzało się, że na skutek zbyt małego oddalenia korpusu dopalacza od poszycia kadłuba samolotu następowało przepalenie i wytopienie tegoż poszycia.

Pożar w przedziale silnika samolotu może powstać także w wyniku wycieknięcia cieczy palnej z agregatów i przewodów do strumienia powietrza chłodzącego rurę przedłużającą

ca. Ciecz przemieszcza się wraz z tym strumieniem do dyszy odrzutowej, gdzie zapala się od wydobywających się z niej, gorących gazów. W takim przypadku za samolotem widoczny jest płomień. Gdy szybkość strumienia powietrza chłodzącego stanie się dostatecznie mała, płomień rozprzestrzeniają się do wnętrza kadłuba i w przedziale silnika powstaje ognisko pożaru.

Zanotowano także pożary spowodowane przedostawaniem się nafty na gorące części silnika. Nafta wycieka z zewnętrznej strony kadłuba, np. z gardzieli zbiornika paliwa, na skutek niezakręcenia lub nieprawidłowego zakręcenia korka gardzieli wlewowej. Jeśli paliwo wycieka na zewnątrz kadłuba, może być zasysane do przedziału silnika poprzez nieszczelności znajdujące się w kadłubie (na styku tylnej i przedniej części kadłuba, przez szczeliny w opływach skrzydeł itp.). Takie zjawisko może występować także przy wyciekaniu cieczy z instalacji położonych w przedziałach sąsiadujących (lub połączonych) z przedziałem silnika.

W instalacjach hydraulicznych podciekanie zdarza się znacznie częściej niż w instalacjach paliwowych, ale pożary częściej powstają z powodu nieszczelności instalacji paliwowych.

**Podciekanie paliwa z instalacji paliwowej stanowi największe niebezpieczeństwo powstania pożaru i podczas przeglądów samolotów trzeba zwracać na to szczególną uwagę.** Podciekanie z instalacji olejowej silnika także często się zdarza, jednak z powodu przedostawania się oleju na nagrzane powierzchnie silnika pożary powstają rzadko.

### Pożary spowodowane przedostawaniem się gorących gazów do przedziału silnika samolotu

Przedostawanie się gorących gazów z silnika do przedziału silnika powoduje nagrzanie wewnętrznej części kadłuba, a to prowadzi do przepalenia poszycia i utraty wytrzymałości konstrukcji. W rezultacie nagrzania mogą też zostać uszkodzone magistrale i agre-

gaty instalacji paliwowej, hydraulicznej i olejowej, co wpłynie na gwałtowne rozszerzenie się pożaru.

**Dlatego natychmiast po zauważeniu pożaru trzeba koniecznie wstrzymać przedostawanie się gazów do przedziału silnika. Należy wyłączyć silnik!**

Jeżeli pożar rozprzestrzenia się intensywnie po przepaleniu przewodów paliwowych, nie zawsze można go gasić za pomocą pokładowych środków gaśniczych.

Pożar może powstać tylko wtedy, gdy dostatecznie duża ilość gazów wydobywa się z silnika i wpływa do przedziału silnika. Nieznaczna ilość tych gazów nie spowoduje pożaru, ponieważ temperatura gazów gwałtownie obniża się podczas mieszania się gazów z chłodzącym je powietrzem.

### Pożary spowodowane zasysaniem paliwa (palnych cieczy) do silnika przez sprężarkę

Pożary powstają z tego powodu najczęściej na statkach powietrznych wyposażonych w silniki odrzutowe ze sprężarką odśrodkową, ponieważ w silnikach tych zasysane powietrze opływa znaczną wewnętrzną część przestrzeni kadłuba z zabudowanymi w niej agregatami oraz przewodami instalacji paliwowej i hydraulicznej. W silnikach ze sprężarką osiową takie pożary mogą powstać tylko przy podciekaniu paliwa w tunelu wlotowym silnika.

Pożarom tym towarzyszą charakterystyczne objawy. W czasie zwiększania obrotów silnika w przedziale silnika rozlega się pojedynczy lub podwójny huk. Z dyszy wylotowej silnika, niekiedy również z tunelu wlotowego samolotu, wydobywają się płomienie. Zjawisku wybuchu może towarzyszyć gwałtowny spadek obrotów i ciągu silnika. Przed hukiem w kabinie pojawia się woń nafty lub spalenizny.

Po wybuchu w przedziale silnika samolotu pożar rozszerza się, zapalają się lampki sygnalizujące pożar. Po takim pożarze, gaszonym nawet z równoczesnym użyciem pokła-



dowych i lotniskowych środków przeciwpożarowych, samoloty zwykle są całkowicie spalone lub zostają skasowane.

Najbardziej zniszczone w wyniku takiego pożaru są elementy silnika i poszycie kadłuba statku powietrznego wokół wlotów do silnika.

Jaki jest mechanizm powstawania pożaru na skutek zasysania paliwa do sprężarki?

Zasysane do sprężarki paliwo ulega rozpyleniu i odparowaniu, tzn. tworzy się mieszanina dobrze przygotowana do zapłonu. Wybucho ona wewnątrz sprężarki. Płomienie rozprzestrzeniają się z dużą szybkością, zwykle w kierunku przepływu przez komorę spalania, turbinę i dyszę odrzutową, ale również w stronę przeciwną – przez urządzenie wlotowe.

Od palącej się paliwowo-powietrznej mieszanki, wyrzucanej przez wlot, zapala się nafta nagromadzona wcześniej w przedziale silnika; powstaje ognisko pożaru.

Zasysanie paliwa do sprężarki przebiega po obwodzie wlotu – nierównomiernie. W rezultacie w niektórych rurach żarowych komory spalania pojawia się nadmiar paliwa, co prowadzi do gwałtownego wzrostu temperatury w tych rurach oraz na aparatach kierujących turbiny, za nimi. Zmniejsza się wydatek przepływu przez te przekroje sprężarki oraz przez wejściowe przekroje rur żarowych, w których nastąpiło podwyższenie temperatury, a także przez odpowiadające im przekroje dyfuzora sprężarki. Prowadzi to do „zatkania” tych kanałów, tj. do powstania pompażu.

Podczas zwiększania obrotów silnika, kiedy normalnie gwałtownie wzrasta temperatura gazów (także w warunkach niezasysania paliwa przez sprężarkę), warunki do rozprzestrzeniania się płomieni z komory spalania do sprężarki stają się bardziej sprzyjające. W poszczególnych egzemplarzach silnika wybuch w sprężarce następuje przy różnych ilościach zasysanego paliwa, ponieważ silniki różnią się zarówno zapasem statecznej pracy, jak i regulacją instalacji paliwowej.

Większość pożarów związanych z wybuchem w sprężarce powstaje na ziemi. W powietrzu zdarzają się one rzadko, pomimo iż przypadki intensywnego zasysania paliwa lub

oleju do sprężarki podczas lotu występują dużo częściej. Ponadto wybuchy w sprężarce następują przy małych prędkościach lotu (podczas szybowania i w górnym punkcie pętli), przy większych prędkościach lotu warunki do wybuchu w sprężarce są mniej sprzyjające.

Pożary związane z wybuchem w sprężarce powstają przeważnie podczas zwiększania obrotów silnika w czasie kołowania lub startu (przedłużające się kołowanie, oczekiwanie na lądowanie innych samolotów, oczekiwanie w kolejce na start itd.), kiedy silnik zbyt długo pracował na niskich obrotach.

W silnikach ze sprężarkami osiowymi fala wybuchu, podczas rozprzestrzeniania się w sprężarce w kierunku przeciwnym do kierunku strumienia, zmienia opływ wlotowego aparatu kierującego, w rezultacie czego łopatki I stopnia sprężarki są w sposób charakterystyczny deformowane. Niekiedy nieznacznie deformują się także łopatki II i III stopnia sprężarki.

Wybuchy w sprężarce osiowej są następstwem niesprawności instalacji paliwowej, np. uszkodzenia zbiornika lub tunelu wlotowego samolotu z powodu „zawisania” zaworów instalacji nadeisnienia. Wybuchy tego rodzaju mogą się zdarzyć także w procesie niszczenia instalacji paliwowej podczas zderzenia samolotu z ziemią (kiedy silnik pracuje lub gdy jego elementy nie zdążą ostygnąć po wyłączeniu silnika, a także jeżeli włączona jest instalacja uruchomienia silnika w locie).

## **CHARAKTERYSTYKA POŻARÓW POWSTAŁYCH W WYNIKU USZKODZENIA ELEMENTÓW SILNIKA**

### **Pożary spowodowane urwaniem łopatek turbiny**

Urwanie łopatek turbiny silnika w wielu przypadkach prowadzi do uszkodzenia zewnętrznych części korpusu silnika. Na statkach powietrznych, na których wokół gorącej części silnika znajduje się zbiornik paliwa, możliwe jest uszkodzenie tego zbiornika. Uszkodzeniu mogą ponadto ulec przewo-

dy rurowe i agregaty instalacji paliwowej. Przyczyną będzie silna wibracja na skutek niewyrównowazenia wirnika.

Požary, które powstają w wyniku urwania się łopatek turbiny, są konsekwencją przedostawania się paliwa z uszkodzonego zbiornika na gorącą powierzchnię silnika, uszkodzenia zewnętrznych powierzchni silnika, a także przedostawania się paliwa z uszkodzonych przewodów rurowych i agregatów instalacji paliwowej do wnętrza silnika lub na jego gorące powierzchnie.

Požary, które powstają w wyniku uszkodzenia tylnego zbiornika paliwa rozwijają się bardzo szybko. Przed pożarem następuje charakterystyczne uderzenie w tylnej części kadłuba i słychać zgrzyty w silniku, po czym na ogół płomienie ogarniają całą tylną część kadłuba. Rozpłomienienie paliwa zachodzi na skutek przedostawania się paliwa na gorącą powierzchnię silnika, a także wskutek wydobywania się gorących gazów z silnika przez przebicia powstałe w zewnętrznym korpusie silnika. Zapalenie się paliwa może nastąpić także w efekcie jego przedostawania się, razem z powietrzem chłodzącym, rurą przedłużającą do dyszy odrzutowej silnika. Pojawiają się wówczas płomienie, które ciągną się za samolotem.

**Szybkie rozszerzanie pożaru po uszkodzeniu tylnego zbiornika paliwa sprawia, że ugaszenie pożaru za pomocą pokładowych środków gaśniczych jest niemożliwe i załoga zostaje zmuszona do niezwłocznego opuszczenia statku powietrznego.**

Požar powstaje czasem w wyniku uszkodzenia, przez oderwane fragmenty łopatek turbiny, przewodów rurowych paliwowej i hydraulicznej instalacji, rozmieszczonych w tylnej części kadłuba statku powietrznego.

Wyróżnia się trzy rodzaje urwania łopatek: zmęczeniowe u nasady zamka, urwanie pióra w wyniku przegrzania łopatki i w rezultacie pęknięcia zmęczeniowego. Stopień i charakter uszkodzenia zewnętrznego korpusu silnika w każdym z tych przypadków jest inny.

Na skutek zmęczenia materiału u nasady zamka zwykle urywa się od razu kilka łopa-

tek. Powodują one wiele przebiec w korpusie turbiny. Skutkiem urwania łopatek są zgrzyty w silniku i silne trzęsienie, zwiększa się temperatura gazów i zmniejsza ciąg silnika. W niektórych przypadkach silnik wyłącza się.

Požar spowodowany urwaniem łopatek u nasady zamka rozwija się intensywnie, ponieważ gazy przedostają się do przedziału silnika przez kilka przebiec o dużych rozmiarach.

Jeżeli następuje urwanie fragmentów piór łopatek z powodu ich przegrzania, to dotyczy to od razu większej liczby łopatek. Wielkość przebiec jest jeszcze większa niż przy urwaniu łopatek u nasady zamka. Dlatego rozwój pożaru w tym przypadku przebiega intensywniej niż po urwaniu łopatek u nasady zamka. Po takim urwaniu łopatek pojawia się również silne trzęsienie silnika, podwyższona temperatura gazów i spadek obrotów (niekiedy też silnik wyłącza się).

**W takich przypadkach, aby zlikwidować pożar wystarczy wyłączyć silnik. Wyłączenie silnika spowoduje przerwanie procesu przedostawania się gazów z wnętrza silnika do przedziału silnika (w początkowej fazie pożaru gazy te stanowią jedyne źródło wysokich temperatur wewnątrz kadłuba statku powietrznego).**

Zmęczeniowe urwanie fragmentu pióra łopatki następuje zwykle tylko na jednej łopatce. Oderwana część może uszkodzić dyszę wylotową lub dopalacz. Jednak w wielu przypadkach elementy te nie zostają uszkodzone, ze względu na małą energię kinetyczną urwanej części łopatki.

W przypadku uszkodzenia dyszy odrzutowej lub dopalacza powstaje tylko jedno przebiecie. Ma ono rozmiary znacznie mniejsze niż przebiecie spowodowane urwaniem łopatek na skutek ich przegrzania lub urwania u nasady zamka. Dlatego gorące gazy z silnika przedostają się do przedziału silnika w znacznie mniejszych ilościach i pożar rozwija się stosunkowo wolno – stopniowe nadtapianie i palenie się elementów samolotu następuje w dość długim czasie.

Požary te, mimo powolnego rozwoju, są jednak bardzo niebezpieczne. Po urwaniu się

pióra łopatki nieznacznie podwyższa się temperatura gazów, pojawia się trzęsienie i silnik nieznacznie słabnie, choć nadal pracuje i reaguje na przemieszczanie dźwigni sterowania silnikiem. Czasem objawy te są tak słabe, że pilot nie zauważa nienormalności w pracy silnika. Ponieważ gazy przedostają się do przedziału silnika dość małym strumieniem, czasem nie zadziałują czujniki instalacji przeciwpożarowej i pilot nie otrzymuje sygnału o rozpoczynającym się przepalaniu elementów samolotu. Niekiedy pojawia się zatem nieoczekiwane niesprawność sterowania samolotem wynikająca z przepalenia cęgów przechodzących przez kadłub, a także uszkodzenie w powietrzu tylnej części kadłuba.

Po uszkodzeniu agregatów oraz przewodów rurowych instalacji paliwowej i hydraulicznej z powodu wzmożonej wibracji, pożar może powstać podobnie jak w przypadku zatkania się cieczy palnych z nagrzanymi powierzchniami silnika, lub w rezultacie zasykania tych cieczy do silnika przez sprężarkę.

Jednak nie zawsze po urwaniu się łopatek turbiny w samolocie powstaje pożar. Niekiedy, podczas nieprzerwanej pracy silnika po urwaniu się łopatek, agregaty i przewody rurowe instalacji paliwowej i hydraulicznej nie zostaną wystarczająco uszkodzone i nastąpi tylko przegrzanie elementów samolotu od gorących gazów. W niektórych przypadkach po urwaniu łopatek turbiny na elementach samolotu nie ma żadnych uszkodzeń.

**Mimo braku uszkodzeń, po stwierdzeniu w czasie lotu nienormalności w pracy silnika, charakterystycznych dla uszkodzenia łopatek turbiny, koniecznie trzeba lądować na najbliższym lotnisku. Jeżeli można dolecieć do lotniska z wyłączonym silnikiem (jest to możliwe na samolotach dwusilnikowych lub gdy istnieje wystarczający „zapas” wysokości), to silnik należy wyłączyć.**

Jeżeli warunki lotu nie pozwalają na wyłączenie silnika – trzeba uważnie obserwować urządzenia sygnalizujące pożar oraz zwracać uwagę na charakterystyczne oznaki pożaru (pojawienie się dymu

**w kabinie samolotu, pociemnienie poszycia gondoli silnika, zaświecenie lampki „Brak oleju”, pojawienie się smugi dymu za samolotem itd.).**

**Po zauważeniu pożaru należy zamknąć zawór odcinający instalacji paliwowej i wyłączyć silnik, po czym wykorzystać samolotowe instalacje przeciwpożarowe.**

### Pożary spowodowane przepaleniem zewnętrznych korpusów turbinowych silników odrzutowych

Przepalenie zewnętrznych korpusów silników jest konsekwencją zakłócenia procesu spalania w komorze spalania, powodującego miejscowe podwyższenie temperatury gazów do wartości, przy której rozpoczyna się uszkodzanie komory spalania, dyszy odrzutowej i innych elementów silnika. W pracy silnika pojawiają się zwykle nienormalności objawiające się podwyższeniem temperatury gazów, a w sporadycznych przypadkach – wzrostem obrotów silnika lub ich „zawisaniem” po cofnięciu dźwigni sterowania silnikiem. Po przepaleniu elementów silnika obroty i ciąg silnika trochę się zmniejszają.

**Wczesne wykrycie podwyższenia temperatury gazów wymaga uwzględnienia faktu, że wskaźnik temperatury gazów w tym przypadku nie zawsze będzie wskazywał temperaturę wyższą od maksymalnie dopuszczalnej, ale jednak wyższą od temperatury, jaką wskazywałby, gdyby silnik był sprawny.**

Rozwój pożaru po przepaleniu zewnętrznych części korpusu silnika przebiega dość wolno; ulega przyspieszeniu po zwiększeniu się rozmiarów przepalonego otworu (otworów), a także po uszkodzeniu agregatów i przewodów rurowych instalacji paliwowej i hydraulicznej. W większości przypadków pożar najpierw powstaje w wyniku przepalenia rury odrzutowej, gdyż wskutek miejscowego podwyższenia temperatury gazów rura ta przepala się w pierwszej kolejności. W następnej kolejności przepalają się: rura przed-

łuzająca, komora spalania, chwytник gazów i inne elementy.

Przedostawanie się dodatkowych ilości paliwa do poszczególnych rur żarowych komory spalania następuje w wyniku uszkodzenia paliwowych wtryskiwaczy roboczych. Z powodu zmniejszenia się ciśnienia w uszkodzonym wtryskiwaczu (paliwo wypływa przez większy otwór), wydatek paliwa znacznie przewyższa wydatek przez sprawne wtryskiwacze, a to prowadzi do powstania nadmiaru paliwa w rurze żarowej zasilanej z uszkodzonego wtryskiwacza. Uszkodzenie wtryskiwacza może nastąpić z powodu niewłaściwej jakości spawania, na skutek zmęczenia materiału, jak również w wyniku uderzenia wtryskiwacza przez urwane części łopatek sprężarki.

Przepalenia dyszy odrzutowej mogą powstać także w efekcie niesymetryczności stożka rozpylania paliwa roboczych wtryskiwaczy, jeśli są zanagarowane. Zwiększa się wówczas nierównomierność pola temperatur w poprzecznym przekroju silnika. Wydatek paliwa w przypadku zanagarowania wtryskiwaczy może się zwiększyć także w następstwie zmniejszenia się stopnia zawirowania paliwa.

Wypływanie powietrza zza sprężarki na zewnątrz silnika, na skutek uszkodzeń powodujących nieszczelności, prowadzi także do zmniejszenia ilości powietrza przechodzącego przez komorę spalania i do zwiększenia temperatury gazów. Rezultatem jest wyciągnięcie i urwanie łopatek turbiny. W tych przypadkach pożar rozwija się intensywnie, ponieważ przepływ gazów do przedziału silnika samolotu następuje zarówno przez przepalone otwory w rurze odrzutowej, jak i przez przebicie w korpusie turbiny.

### Pożary spowodowane uszkodzeniem korpusów komór spalania i dopalacza

Rzadko powstają na samolotach pożary z powodu uszkodzenia korpusu komory spalania. Dzieje się tak dlatego, że do przedziału silnika nie przedostają się spaliny, lecz po-

wietrze wtórne zmieszane z niewielką ilością tych spalin. Temperatura tej mieszaniny gazów jest więc niezbyt duża. Do przedziału silnika podawany jest ponadto strumień powietrza chłodzącego. Dlatego uszkodzenie elementów samolotu przebiega wolno i przedostawanie się gazów do przedziału silnika jest zwykle w porę wykrywane podczas przeglądów samolotów na ziemi, na podstawie pociemnienia poszycia kadłuba samolotu w okolicach komory spalania.

**Zatem, podczas przeglądów samolotów koniecznie należy zwracać uwagę na wszelkie zmiany koloru i stanu poszycia w okolicach gorących zespołów silnika.**

Jeżeli przedostawanie się gazów do przedziału silnika nie zostanie w porę wykryte – może dojść do uszkodzenia instalacji paliwowych lub hydraulicznych samolotu, a także do przepalenia rury odrzutowej i w konsekwencji – do pożaru. Takie przypadki się zdarzały.

Znane są też przypadki, kiedy uszkodzenie korpusu dopalacza wykryto na ziemi dopiero po stwierdzeniu przepalenia poszycia samolotu, a załogi samolotów nie zgłaszały żadnych nienormalności.

Przedostawanie się gazów do przedziału silnika, zachodzące przy nawskrośnych pęknięciach korpusów turbiny i rury odrzutowej jest nieduże i można je wykryć dokładnie kontrolując stan techniczny elementów podczas przeglądów silnika oraz obserwując pociemnienie poszycia samolotu.

Podczas długotrwałej pracy silnika na którego elementach znajdują się pęknięcia, następuje przepalenie miejsc tych pęknięć. Zwiększa się wówczas ilość gazów dostających się do przedziału silnika, a w następstwie tego może dojść do uszkodzenia elementów samolotu i pożaru z powodu uszkodzenia instalacji paliwowej lub hydraulicznej czy tylnego zbiornika paliwa.

Przedostawanie się gazów do przedziału silnika może nastąpić również wskutek urwania śrub lub odkręcenia nakrętek, którymi połączone są różnorodne zespoły i węzły gorącej części silnika.

**Podczas eksploatacji należy więc szczególnie dokładnie sprawdzać stan połączeń węzłów gorącej części silnika i stan luzów między nimi.**

### **Pożary spowodowane przesączeniem się paliwa przez szczeliny silnika do przedziału silnika samolotu**

Przy przekręceniu silnika z otwartym zaworem odcinającym i następnie przekręceniu silnika z zamkniętym zaworem odcinającym, przez połączenia zewnętrznych agregatów silnika może przesączać się paliwo w postaci pojedynczych kropli. Jeżeli niektóre luzy w połączeniach zewnętrznych elementów są zwiększone, to do przedziału silnika samolotu może przesączać się dość duża ilość nafty. Podczas próby silnika nafta może zapalić się wskutek nagrzania od zewnętrznych powierzchni silnika lub od gazów wydobywających się przez połączenia ze zwiększonymi luzami.

Ognisko pożaru w przedziale silnika pojawia się najczęściej przy dopalaniu paliwa w trakcie gazowym pracującego silnika za komorą spalania, a także przy przekręceniu silnika mającym przerwać dopalanie. W większości przypadków pożary powstawały przy dopalaniu paliwa na silnikach z dopalaczem. Wynika to z tego, że połączenie teleskopowe między korpusem turbiny i komorą dopalacza nie jest wystarczająco hermetyczne i przy dopalaniu paliwa w komorze dopalacza następuje przesączenie się gorącego paliwa.

W celu zapobieżenia przedostawaniu się tego paliwa do przedziału silnika dokonano konstrukcyjnej zmiany polegającej na zamontowaniu pierścienia zakrywającego luz w połączeniu wzdłuż całego obwodu, a w dolnej części teleskopowego połączenia zamontowano zbiorniczek drenażowy.

Dopalanie paliwa w silniku nie zawsze prowadzi do powstania pożaru, ale często powoduje wypaczenie rury odrzutowej lub przedłużającej.

Dopalanie paliwa za komorą spalania powstaje także podczas uruchamiania silnika przy niepełnym otwarciu zaworu odcinającego lub zaworu drenażowego, a także po wyłączeniu silnika (szczególnie ze sprężarką osiową) z niepełnym zamknięciem zaworu odcinającego

Wiele przypadków dopalania paliwa zanotowano w czasie uruchamiania silników z zainstalowanymi lub niedrożnymi instalacjami drenażowymi.

Często dopalanie paliwa zdarza się podczas pierwszej próby uruchomienia silnika nowo zabudowanego w samolocie, jeśli nie zostanie zdjęta zaślepka z instalacji drenażowej lub nie zostanie usunięty z tej instalacji gęsty smar.

**W celu zapobieżenia przypadkom dopalania paliwa w silniku podczas uruchamiania silnika z niedrożnymi lub zaślepienymi instalacjami drenażowymi, należy bezwzględnie przestrzegać zasad kontrolowania stanu i pracy instalacji drenażowej, szczególnie przed uruchomieniem silnika nowo zabudowanego.**

Na silnikach ze sprężarką osiową dopalanie paliwa występuje także z powodu zanieczyszczenia lub „zawisania” zaworu zlewowego, albo wskutek zanieczyszczenia przewodu nadciśnienia zbiorniczka drenażowego.

### **Pożary spowodowane wyciekaniem paliwa z instalacji paliwowej silnika**

Do powstania pożaru na turboodrzutowych silnikach prowadzi najczęściej pojawienie się wycieku z paliwowej instalacji silnika lub samolotu. Pożary mogą powstawać w następstwie wybuchu paliwowo-powietrznej mieszanki w sprężarce i przedostawania się paliwa na nagrzane powierzchnie silnika oraz wskutek przepalenia zewnętrznych elementów silnika.

Wyciek paliwa stanowi duże niebezpieczeństwo także z tego powodu, że przy zasysaniu paliwa do silnika w kabine samolotu pojawiają się opary, które oddziałują na or-

ganizmy załogi, a także pogarszają widoczność w kabinie, co utrudnia pilotowanie samolotu.

W wielu przypadkach przy powstaniu wycieku z instalacji paliwowej silnika w locie rozwój pożaru następuje na ziemi i pożar ten jest zauważany dopiero po wyłączeniu silnika. Można to tym wyjaśnić, że w czasie lotu, w efekcie naporu dynamicznego i dużych obrotów silnika, pożar nie rozprzestrzenia się wewnątrz przedziału silnika, czasem nawet płomień może zgasnąć. Natomiast w trakcie lądowania i kołowania prędkość samolotu jest niewielka i niewielkie są obroty silnika. Przepływ powietrza w przedziale silnika znacznie zmniejsza się i warunki zaczynają sprzyjać rozwojowi pożaru. Zmniejszenie prędkości strumienia powietrza w przedziale silnika sprzyja także zapaleniu się paliwa od gazów przedostających się w miejscach połączeń różnych elementów silnika. Tworzą się także warunki dogodne do gromadzenia się kropli paliwa w kadłubie samolotu. Od nagrzanego powierzchni silnika lub gazów zapala się od razu większa ilość paliwa, co powoduje intensywne rozszerzenie się pożaru.

Znane są przypadki, kiedy pilot w locie czuł woń paliwa, a lampka sygnalizująca pożar nie zapaliła się, nie było także żadnych oznak pożaru. Rozwój pożaru następował po przyziemieniu samolotu, podczas kołowania lub po wyłączeniu silnika. Skutkiem takich pożarów były poważne uszkodzenia silników i samolotów, a niekiedy zupełne ich zniszczenie.

**Dlatego po otrzymaniu od pilota informacji o stwierdzeniu zapachu nafty w kabinie, niezależnie od tego czy zapaliła się w kabinie lampka sygnalizująca pożar, czy nie, należy koniecznie postawić w stan gotowości naziemne środki przeciwpożarowe. Po przyziemieniu samolotu nie należy kołować na płaszczyznę przygotowania samolotów, lecz do miejsca rozwinięcia środków przeciwpożarowych i wyłączyć silnik w ich pobliżu. Nie należy uruchamiać silnika dopóki nie zostanie ustalona przyczyna pojawienia się woni nafty w kabinie samolotu.**

**Nieszczelności instalacji paliwowej silnika występują w różnych jej miejscach, dlatego trudno jest wskazać miejsca, które muszą być szczególnie kontrolowane. Należy więc drobiazgowo przeglądać całą instalację paliwową, przy czym przeglądy powinny być wykonywane nie tylko w ramach obsługi bieżących i okresowych, ale także podczas pracy silnika.**

**W niektórych jednostkach lotniczych przegląd paliwowej instalacji silnika przeprowadza się przed każdym lotem, po uruchomieniu silnika przez pilota. Przegląd wykonuje się przez luki przeglądu silnika (co jednak powoduje inne zagrożenia).**

W większości przypadków nieszczelność instalacji paliwowej rozpoczyna się od tzw. „pocenia” lub przesiąkania pojedynczych kropli paliwa, co jeszcze nie stanowi niebezpieczeństwa. Dzięki tym oznakom udaje się jednak często wykryć nieszczelność instalacji już na początku.

**Jeżeli „pocenie się” paliwa nie zostanie w porę wykryte i usunięte – może przekształcić się w wyciek stwarzający niebezpieczeństwo pożaru.**

Wyciek paliwa powstaje najczęściej w miejscach połączenia różnych elementów i agregatów instalacji paliwowej, paliwo wycieka też z zaślepek i nakrętek dociskowych w agregatach oraz w miejscach wkrętów regulacyjnych, w miejscach podłączenia przewodów do króćców agregatów i w miejscach zlewu paliwa lub odstoju. W tych samych miejscach pojawiają się podcieki z instalacji hydraulicznej (także sterowania dyszą odrzutową). Oprócz tego w instalacji hydraulicznej często występują podcieki na trzonach cylindrów hydraulicznych z powodu uszkodzenia uszczelnień (podkładek).

**Podciekanie w miejscach znajdowania się zaślepek, kołnierzy, nakrętek dociskowych i innych nie zawsze może być likwidowane przez dociąganie nakrętek, zaślepek lub wkrętów. Bardziej celowe jest dokonanie wymiany podkładek, uszczelki i innych elementów, które nie zapewniły szczelności połączenia.**

Wycieki paliwa w miejscach tworzenia się pęknięć w paliwowych przewodach w większości przypadków powstają na szwach spawalniczych i w miejscach przecięcia rurek.

Dlatego **podczas przeglądów instalacji paliwowej koniecznie trzeba zwracać uwagę na stan szwów spawalniczych i rozwalcowania rurek. Główną przyczyną uszkodzenia rurek jest wibracja, toteż należy kontrolować mocowanie rurek.**

**Eksplloatatorzy silników lotniczych na podstawie własnego doświadczenia powinni wskazać charakterystyczne uszkodzenia instalacji paliwowej, które mogą powodować najsilniejsze wycieki i w następstwie stanowić największe niebezpieczeństwo.**

Należy zauważyć, że w silnikach, które podlegały działaniu wysokich temperatur, podczas pożaru prawie zawsze „wychodzą” z zawalcowania w końcówkach niektóre przewody. Dlatego podczas badań przyczyn pożarów niekiedy wysuwane są nieprawidłowe wnioski, że przyczyną pożaru było „wyjście” jednego z paliwowych przewodów z zawalcowania w końcówce (w większości przypadków dotyczy to przewodów doprowadzających paliwo do wtryskiwaczy roboczych).

Zawalcowanie w końcówce przewodów hydraulicznych różni się od zawalcowania przewodów paliwowych, przy czym wytrzymałość tego zawalcowania jest znacznie mniejsza. Z tego powodu podczas eksploatacji samolotów zdarzały się przypadki „wyjścia” z zawalcowania w końcówce przewodów instalacji hydraulicznej, czego następstwem byłyby pożary.

W silnikach wyposażonych w naciśnieniowe zbiorniczki drenażowe podciek paliwa w przedziale silnika samolotu powstaje wtedy, gdy uszkodzone zostaną rurki doprowadzające sprężone powietrze do tych zbiorniczków. W tym przypadku paliwo przepęlnia zbiorniczek drenażowy i zaczyna przenikać do przedziału silnika przez uszkodzoną rurkę.

## **Pożary spowodowane nieprawidłowym montowaniem elementów gorącej części silnika**

Podczas eksploatacji zanotowano przypadki uszkodzenia elementów samolotu na skutek przedostawania się gazów z silnika do przedziału silnika z powodu nieprawidłowego zamontowania połączeń jego gorących zespołów.

Jeśli nakrętki są niedociągnięte, a w miejscach połączeń brakuje miedzianych podkładek lub podkładki są niewłaściwej jakości, z gorących zespołów silnika wydobywają się gazy. Czasem przedostawanie się gazów do przedziału silnika nie zostaje wykryte, ponieważ gazy te, wydobywając się w postaci strumieni, nie zawsze znajdują się w zasięgu reagowania nadajników instalacji przeciwpożarowej. Z czasem następuje przepalenie korpusu silnika, co prowadzi do zwiększenia ilości gazów wpływających do przedziału silnika samolotu. Może wtedy nastąpić przepalenie poszycia samolotu, uszkodzenie termiczne instalacji paliwowej i hydraulicznej, a także przepalenie cięgieł sterowania samolotem.

Ponadto gazy przedostają się do przedziału silnika po samoczynnym odkręceniu i wypadnięciu różnych zaślepek. Samoczynne odkręcanie się zaślepek zwykle spowodowane jest brakiem drutu zabezpieczającego, jego nieprawidłowym założeniem oraz wykonaniem z materiału, który podczas pracy silnika ulega uszkodzeniu. Jednakże pomimo dużej liczby takich przypadków, nie zanotowano dotąd pożaru statku powietrznego z tego powodu.

Z przedstawionych rozważań wynika, że ciągłe wyczulanie personelu technicznego i latającego na zagrożenia wybuchu pożaru oraz nabycie umiejętności właściwego oceniania ewentualnych nieprawidłowości w czasie eksploatacji są niezwykle ważne.

W celu osiągnięcia jak największej skuteczności w działaniach na rzecz zabezpieczenia przed pożarem eksploatowanych statków powietrznych, oprócz wykonywania rutynowych czynności, należy:

- Pobudzać wyobraźnię osób eksploatujących statki powietrzne w celu uświadomienia im zagrożeń oraz objawów, zjawisk i sytuacji związanych z możliwością wybuchu pożaru na statku powietrznym, wykorzystując nie tylko obowiązujące instrukcje, ale przede wszystkim wnioski płynące z zaistniałych zdarzeń. Pomocne mogą być specjalnie opracowane filmy szkoleniowe.
- Rygorystycznie kontrolować przestrzeganie postanowień instrukcji obsługi i użytkowania statku powietrznego w aspekcie zapobieżenia powstaniu pożaru (konserwowanie i rozkonserwowywanie silnika, wykonywanie próby silnika w ramach obsługi, uruchamianie i wyłączanie silnika, analizowanie niesprawności, użytkowanie silnika, postępowanie w sytuacjach szczególnych w czasie lotu itp.).
- Zapewnić jak najwcześniejsze wykrywanie – w czasie obsługi i użytkowania statku powietrznego – uszkodzeń sprzyjających powstaniu pożaru.
- Dążyć do ustalenia przyczyn wykrytej niesprawności (objawu niesprawności), opracowywać (proponować przełożonym) i realizować skuteczną profilaktykę.
- Wszystkie prace montażowe na statkach powietrznych wykonywać w sposób wy-

kluczający pominięcie jakiegokolwiek czynności oraz możliwości powstania uszkodzeń (pęknięć i przetarć przewodów) podczas dalszej eksploatacji, a także wykluczający niewłaściwe mocowanie (oburtowanie) przewodów, pojawienie się niehermetyczności połączeń, niesprawności zabezpieczeń itp.

- Wszelkiego rodzaju uszczelki, podkładki i zabezpieczenia każdorazowo wymieniać na nowe. Po wykonaniu jakiegokolwiek prac koniecznie upewnić się o ich prawidłowym wykonaniu oraz o właściwym funkcjonowaniu agregatów (instalacji).

**Załoga statku powietrznego jest szczególnie narażona na wszelkie zagrożenia, jakie pojawią się podczas lotu – i musi sobie w trudnych sytuacjach poradzić. Jednakże na personelu technicznym ciąży odpowiedzialność za wyeliminowanie przed lotem wad konstrukcyjnych i wynikających z nieprawidłowości remontowych oraz ze skutków łamania przepisów (zasad, ograniczeń) eksploatacyjnych. Efektem właściwej eksploatacji powinno być wykrywanie i usuwanie w porę błędów w opisanych sferach i płaszczyznach, by nie dopuścić do zaistnienia wypadku lotniczego.**

**36 accidents connected with fire (or with serious threat of its outbreak) have taken place on jet aircraft of the Polish Air Force since 1972. The author presents characteristics of the air accidents connected with fire on MiG-21, MiG-29 and Su-22 aircraft. He talks over the origin of the fires and over actions which would effectively decrease fire outbreak possibility on the airships in use.**