

Dwie rocznice

1928 — 1947 — 1993

Sekcja
Lotnicza



15 maja br. odbyła się jubileuszowa uroczystość Sekcji Lotniczej Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich, zorganizowana w Państwowych Zakładach Lotniczych Warszawa-Okęcie dzięki gościnności dyrekcji tego przedsiębiorstwa. Okazja była podwójna: 65-lecie utworzenia Związku Polskich Inżynierów Lotniczych oraz 46-lecie Sekcji Lotniczej SIMP.

Sekcja Lotnicza — jak określił to Przewodniczący Zarządu Głównego SIMP — jest najprężniej działającą sekcją Stowarzyszenia i stanowi jeden z jego filarów.

W uroczystości poprzedzonej konferencją prasową wzięli udział członkowie Zarządu Głównego SIMP: Przewodniczący mgr inż. Kazimierz Rajzer i Sekretarz Generalny mgr inż. Kazimierz Łasiewicki oraz m.in. członkowie Krajowej Rady Lotnictwa i członkowie Klubu Pilotów Doświadczalnych, a także liczni przedstawiciele kół lotniczych z różnych ośrodków krajowych — w tym najbardziej zasłużeni — oraz osoby związane zawodowo i zaprzyjaźnione z lotniczym środowiskiem technicznym.

Po słowie wprowadzającym Przewodniczącego Sekcji Lotniczej SIMP mgr. inż. Tadeusza Kurcyka, referat pt. „Rys historyczny ruchu stowarzyszeniowego inżynierów lotniczych” wygłosił doc. dr inż. Tadeusz Kostia. Według oceny wielu spośród zebranych był to najpełniejszy ze znanych zbiorów informacji nt. historii ruchu stowarzyszeniowego polskiego środowiska lotniczo-technicznego, obejmujący okres od najdawniejszych znanych faktów oraz dotyczący obszaru kraju i terenów, gdzie polscy inżynierowie lotniczy działali na obczyźnie.

Po wysłuchaniu referatu — nagrodzonego brawami — przystąpiono do ceremonii odznaczania najbardziej zasłużonych członków Sekcji Lotniczej SIMP. Następnie Medalem Za Zasługi dla Obronności Kraju został odznaczony Przewodniczący Sekcji Lotniczej ZG SIMP, długoletni, zasłużony jej członek — mgr inż. Tadeusz Kurcyk.

Jubileuszowe uroczystości urozmaiciło zwiedzanie Państwowych Zakładów Lotniczych Warszawa-Okęcie oraz pokaz najnowszych produkowanych tam konstrukcji. Zebrani obejrzeli m.in. pokaz w locie samolotu szkolno-treningowego PZL-130TB Orlik, a także zobaczyli makietę samolotu wsparcia pola walki PZL Skorpion.

Uroczystości zakończyło towarzyskie spotkanie przy herbacie, w czasie którego dzielono się wspomnieniami.

22 marca 1928 r. na zebraniu założycielskim zorganizowanym przez 22 przedstawicieli polskiego lotniczego środowiska inżynierskiego utworzono Związek Polskich Inżynierów Lotniczych (ZPIL). Pierwszym przewodniczącym tej organizacji został inż. Gustaw Andrzej Mokrzycki (zob. „AERO-TL” nr 3/1993 str. 14). Zrzeszeni w ZPIL inżynierowie lotniczy postawili sobie wówczas za cel propagowanie i popieranie wszelkich poczynań zmierzających do rozwoju wiedzy lotniczej, technicznego szkolenia lotniczego, komunikacji lotniczej oraz sportu lotniczego. Postanowiono zatem popierać i podejmować wydawanie czasopism technicznych — m.in. własnego organu, którym była „Technika Lotnicza”, prowadzenie bibliotek i czytelni oraz organizowanie odczytów i dyskusji, kursów dokształcających, wycieczek itp. Wobec społeczeństwa, władz państwowych i organizacji technicznych oraz społecznych ZPIL reprezentował ogół polskich inżynierów lotniczych. Związek postawił sobie za cel również obronę interesów zawodowych swego środowiska. W 1939 r. ZPIL zrzeszał ok. 300 członków.

W dwa lata po zakończeniu II wojny światowej, 30 maja 1947 r. odbyło się zebranie 30 inżynierów i techników lotniczych — w większości członków dawnego ZPIL, na którym zdecydowano wznowić działalność stowarzyszeniową. Ówczesne warunki społeczno-polityczne narzuciły konieczność przyłączenia się do Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich (SIMP) — organizacji utworzonej z inicjatywy ówczesnych władz partyjno-państwowych w celu integracji środowisk technicznych. Działalność stowarzyszeniowa inżynierów i techników lotniczych była prowadzona początkowo w ramach Koła Lotniczego SIMP, przekształconego następnie w Sekcję Lotniczą SIMP — funkcjonującą do dziś.

Działalność stowarzyszeniowa prowadzona jest w kołach Sekcji Lotniczej SIMP, z których najliczniejsze i najprężniej funkcjonujące są w: Mielcu, Rzeszowie, Świdniku i Warszawie.

LOT – czas przełomu

Jednoosobowa spółka Skarbu Państwa — Polskie Linie Lotnicze LOT SA (zarejestrowana 29 grudnia 1992 r.) przewiozła w ubr. r. 1254 tys. pasażerów oraz 11 296 t ładunków, wykonując 3577 pasażerokilometrów i 356 tonokilometrów. Firma osiągnęła w minionym roku zysk brutto ok. 40 mld zł, natomiast netto — straty w wysokości ok. 110 mld zł.

● **Przekształcenie PLL w spółkę** jest krokiem ku prywatyzacji, która powinna być dokonana do końca grudnia 1994 r. Zadaniem obecnego Zarządu (prezes — Jan Litwiński), o dwuletniej kadencji, jest przygotowanie do tego przedsięwzięcia. Przewiduje się, że w wyniku prywatyzacji zostanie sprzedane nie więcej niż 49% akcji (część — załodze), pozostałe 51% akcji pozostanie zaś w gestii Skarbu Państwa.

W wyniku reorganizacji przedsiębiorstwa, z ośmiu pionów organizacyjnych pozostały obecnie cztery: finansowy (dyr. Piotr Ikanowicz), handlowy (dyr. Jan Mich), eksploatacji (dyr. Jarosław Kaczkowski) i techniczny (dyr. Wiesław Wypych).

Zmniejszono zatrudnienie z ok. 6100 osób w końcu 1991 r. do ok. 4450 osób pod koniec 1992 r. (w końcu 1990 r. w PLL LOT pracowało ponad 7300 osób), przy czym ok. 1/3 zwolnionego personelu zatrudniono w LOT Catering oraz LOT Grand Service. Są to dwie samodzielne spółki wydzielone z PLL LOT w celu zagospodarowania nowoczesnych obiektów uruchomionych w ub. r.: cateringu i dworca towarowego. Obydwie te spółki są całkowitą własnością PLL LOT SA, jakkolwiek ich zarządzanie oddano w ręce fachowych menagerów (odpowiednio: SAS Partners i AMR).

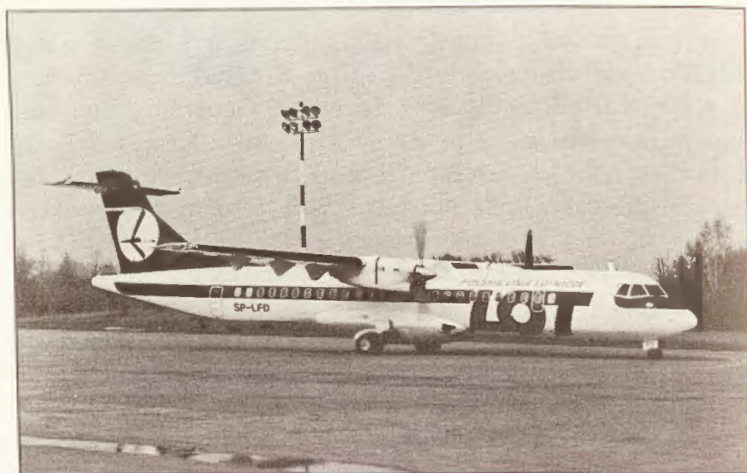
Częścią procesu prywatyzacji PLL LOT SA jest zawarcie z silnym partnerem trwałego związku wzmacniającego pozycję rynkową naszego przewoźnika. Zawarcie takiego tzw. aliansu strategicznego z tego rodzaju partnerem jest obecnie planowane — może to być silny przewoźnik europejski lub amerykański, nie wyklucza się też partnera dalekowschodniego. Teoretycznie nie musi to być związek finansowy (polegający na wykupieniu przez partnera części LOT-u), jednak jest to bardzo prawdopodobne.

● **Flota PLL LOT SA** składa się obecnie z 14 samolotów Tu-154M, 7 Tu-134A, 6 Boeingów 737-400/500 (2 dzierżawione od Linjeflyg), 5 ATR-ów 72 oraz 3 Boeingów 767-200/300 (łącznie 35 maszyn). Podobnie jak w ub. r., także i w bieżącym zostanie wydzierżawiony od Air New Zealand 1 Boeing 767—200

na okres 7 miesięcy, w których występuje szczególne nasilenie ruchu pasażerskiego.

Od kwietnia do lipca br. LOT odbierze kolejne 4 Boeingi 737, ale ponieważ odda 2 dzierżawione — do końca 1993 r. będzie dysponować 8 samolotami tego typu. Samoloty Tu-134 będą latać w barwach naszego przewoźnika jeszcze zimą 1993/1994, natomiast LOT zamierza pozbyć się w br., po sezonie letnim, wszystkich Tu-154M (najmłodszy ma 1,5 roku). Jakkolwiek sprzedaży trzech tych samolotów nie wykluczano do połowy kwietnia br., ze zbytem Tu-154M są kłopoty: obecnie oferowanych jest ok. 80 samolotów tego typu, głównie przez przewoźników ze Wspólnoty Niepodległych Państw. Dlatego rada nadzorcza PLL LOT SA miała rozpatrywać 2 kwietnia br. koncepcję utworzenia towarzystwa czarterowego, całkowicie wyłączonego ze struktur przedsiębiorstwa, ale afiliowanego, które eksploatowałyby 5—6 samolotów Tu-154M wraz z załogami.

W 1994 r., po otrzymaniu ostatniego Boeinga 737-400, dwóch ostatnich ATR-ów 72 i wycofaniu z eksploatacji wszystkich Tu-154M i Tu-134A — PLL LOT SA będą dysponować 9 Boeingami 737-400/500, 7 ATR-ami 72 i 3 Boeingami 767-200/300, a więc flotą 19 samolotów wyłącznie zachodniej produkcji, czyli — zdaniem przedsiębiorstwa — najmłodszą flotą na świecie.



ATR 72 SP-LFD

Fot. M. Dąbrowski

Podstawowe wielkości przewozowe

Przewozy lotnicze	1988	1989	1990	1991	1992	Plan 1993
Pasażerokilometry wykorzystane	3947	4887	4430	3589	3577	3855
Oferowana praca przewozowa, pkm	5143	6362	6556	5284	5246	6029
Współczynnik wykorzystania miejsc pasażerskich, %	76,7	76,8	67,6	67,9	68,2	63,9
Przewieziona ładunki, tkm	16	31	52	42	48	60
Całkowita praca przewozowa, tkm	357	453	433	350	356	424
Globalne oferowanie, tkm	555	760	837	713	715	813
Współczynnik wykorzystania ładunku handlowego samolotów, %	64,3	59,6	51,7	49,1	49,8	52,2
Przewieziona ładunki, t	6842	8593	11300	9424	11296	14230
Ogólna liczba przewiezionych pasażerów, tys.	2017	2305	1715	1208	1254	1447
w tym:						
na liniach krajowych	426	417	227	99	129	180
na liniach dawnych KDL	528	641	416	88	105	150
na średnim dystansie bez d. KDL	839	952	813	719	708	802
na liniach dalekiego zasięgu	224	295	326	302	312	315

● **Przewozy pasażerów PLL LOT** wzrosły w 1992 r. o 4% w porównaniu z wynikiem 1991 r., zaś w 1993 r. PLL LOT SA planują przewieźć 1447 tys. pasażerów, tj. o 15% więcej niż w ub. r.

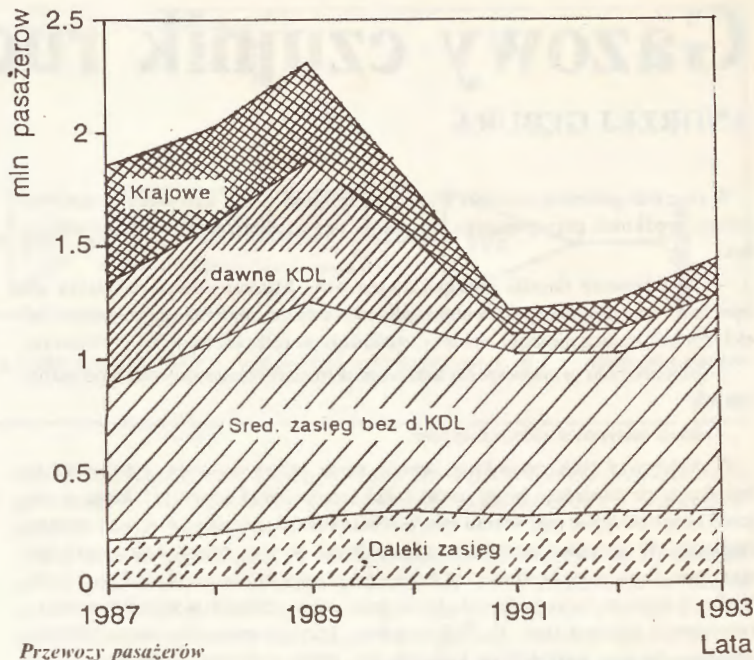
Przewozy towarów wzrosły w 1992 r. o ok. 20%, w 1993 r. planuje się ich zwiększenie o niemal 26%.

Po gwałtownym spadku przewozów pasażerskich w latach 1990—1991 i ustabilizowaniu sytuacji w minionym roku (patrz tabela i wykres), trwa rozwój działalności naszego przewoźnika — jednak w niełatwych warunkach. Ekspansję na środkowo- i wschodnioeuropejskim rynku przewozowym rozpoczęły zachodnie linie lotnicze, m.in. renomowane niemieckie Lufthansa, holenderskie KLM, skandynawskie SAS i belgijskie SABENA, przy czym ten ostatni przewoźnik jeszcze przed trzema laty w ogóle nie utrzymywał połączeń z Polską. Jest to dalszy efekt światowej recesji: przewoźnicy ci, chcąc zapewnić sobie pasażerów na liniach dalekiego zasięgu (np. transatlantycznych, na których od pewnego czasu odnotowują spadek przewozów) pragną dowieźć ich sobie z tego rejonu Europy. Z tego wynikła m.in. „wojna” między PLL LOT SA a KLM o 14 połączeń tygodniowo na trasie Warszawa-Amsterdam (KLM ma ich obecnie 7); podobne podłoże ma rozpoczęty w ub. r. konflikt z SAS-em.

Tymczasem połączenia wewnątrz europejskie w kierunku zachodnim to te, na których LOT przewozi najwięcej pasażerów i z których czerpie największe dochody (patrz wykres), a liczba pasażerów na tych liniach PLL LOT w ub. r. nieznacznie zmniejszyła się (o 1,5%).

Nawiasem mówiąc LOT prowadzi podobną politykę dowożenia sobie pasażerów na linie dalekiego zasięgu, głównie transatlantyczne, z Litwy, Łotwy, Ukrainy i Białorusi. Pasażerom tych państw rodzimi przewoźnicy nie mogą zaoferować dalekodystansowych przelotów — głównie w celu przyciągnięcia podróżnych stamtąd uruchomiono połączenia ze stolicami tych państw (30 marca zainaugurowano linię Warszawa—Ryga).

Mimo oferowania przelotów samolotami o standardzie, do jakiego są przyzwyczajeni zachodni pasażerowie i lepszych warunków odprawy w nowym porcie lotniczym Okęcie II — PLL LOT SA nadal nie są konkurencyjne dla renomowanych i silnych przewoźników zachodnioeuropejskich, jak wymienieni wyżej. Do tego dochodzi utrata wielu pasażerów — turystów (obecnie jesteśmy krajem o tak wysokim poziomie cen, że cudzoziemcy wolą wybierać inne państwa na spędzenie urlopu), zaś pasażer służbowy stawia dość wysokie wymagania, m.in. pragnie przylecieć do Polski i wrócić tego samego dnia. Chcąc



sprostać tym wymaganiom oraz przeciwstawić się agresywnej ekspansji przewoźników zachodnich, PLL LOT SA zmuszone są zagęścić siatkę swych połączeń. Dlatego przewiduje się, że mimo planowanego znacznego wzrostu liczby przewożonych pasażerów (o 15%) współczynnik wykorzystania miejsc w samolotach LOT-u zmniejszy się w 1993 r. do 63,9% — z 68,2% w 1992 r. Uruchamia się też nowe połączenia na trasach: Warszawa-Sztokholm-Oslo (od 29 marca br.), Wrocław-Poznań-Düsseldorf (od 28 marca br.) i Katowice-Frankfurt n.Menam.

Przewiduje się, że w wyniku tych i innych zabiegów liczba przewożonych pasażerów na liniach średniego zasięgu (bez d. KDL) wzrośnie w br. o ponad 13%.

Oprócz wymiany floty i koordynacji rozkładu lotów, do pełnego sukcesu (tj. przetrwania — mimo rosnących ostatnio wskaźników) niezbędna jest jeszcze elastyczna polityka cenowa, zwłaszcza w warunkach deregulacji panującej obecnie w Europie Zachodniej (bilety LOT-u należą do droższych).

Osobny problem naszego przewoźnika to rentowność połączeń krajowych. Mimo rosnącej liczby pasażerów, połączenia te są tradycyjnie deficytowe. Z wypowiedzi członków Zarządu i dyrekcji PLL LOT SA wynika, że sytuacja ta jest przez przedsiębiorstwo akceptowana (połączenia krajowe stanowią integralną część siatki połączeń naszego przewoźnika), jakkolwiek dąży się do ograniczenia deficytu. Prowadzone są m.in. pertraktacje z PKP, by przejazdy kolejowe były oferowane w ramach łączonych (kolejowo-lotniczych) biletów międzynarodowych i w ten sposób zostałby wyeliminowany czynnik konkurencyjności tych dwóch przewoźników.

● **Sytuacja finansowa PLL LOT SA** (zysk brutto 40 mld zł, ale netto — straty 110 mld zł) wynika przede wszystkim z ogromnego zadłużenia (biliony zł) zarówno w kraju, jak i za granicą.

Zadłużenie krajowe, to przede wszystkim nie płacony w minionych latach popiwiek (jest to zadłużenie budżetowe; obecnie prowadzi się rozmowy nt. odroczenia spłaty tego długu); do tego dochodzi zadłużenie wobec Przedsiębiorstwa Polskie Porty Lotnicze z tytułu udziału w inwestycji — nowym porcie lotniczym Okęcie II (a nie z tytułu użytkowania tego obiektu). Zadłużenie zagraniczne wynika z leasingu samolotów — po otrzymaniu 9. Boeinga 737 wzrośnie ono do ponad 0,5 mld USD. Jest to jednak pozycja pozabilansowa.



Boeing 737-500 SP-LKA

Fot. M. Dąbrowski

Gazowy czujnik ruchu kąтового

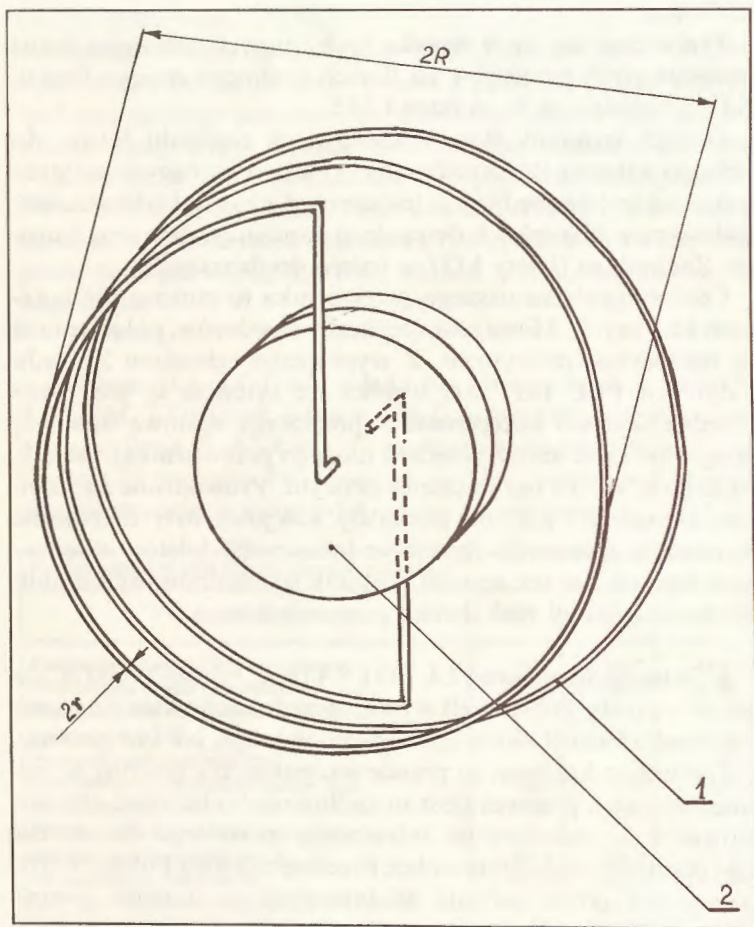
ANDRZEJ GĘBURA

W różnych gałęziach techniki stosuje się czujniki ruchu kąтового: przemieszczenia, prędkości, przyspieszenia kąтового. Przykładem takich czujników mogą być:

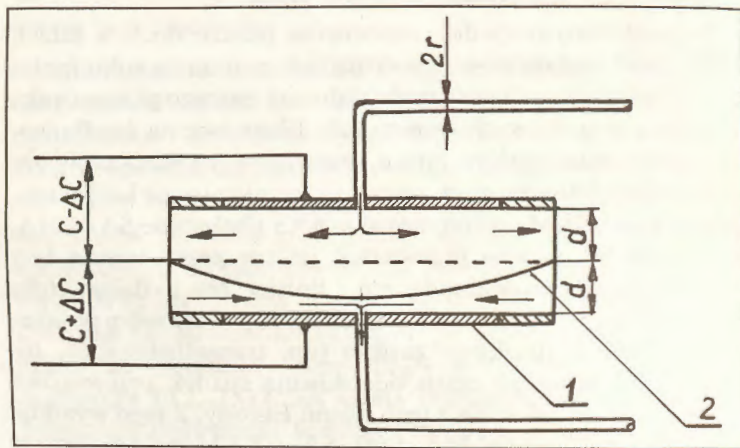
- żyroskopowe dajniki prędkości kątowych, których zasada działania jest oparta na żyroskopie o dwóch stopniach swobody ze sprężyną (mechaniczna lub elektryczna) dającą moment zwrotny, stosowane w technice lotniczej i raketowej.
- przetworniki przyspieszenia kąтового w momentomierzach elektrodynamicznych,
- łącza selsynowe różnych typów.

W każdym z tych czujników istnieje masa zrównoważona zawieszona na łożyskach, co powoduje błędy tarcia (błąd zastoju, błąd histerezy), które rosną, jeżeli konstrukcyjnie (np. w celu zwiększenia czułości czujnika) zwiększa się masę ruchomą. W dodatku wszelkie masy ruchome w ww. czujnikach muszą być starannie wyważone. Trudności te można przezwyciężyć w czujnikach gazowych. Wykorzystano tu zjawisko bezwładności gazu umieszczonego w spiralnej rurce-cewce gazowej (rys. 1). Pod wpływem przyspieszenia kąowego (proporcjonalnie do jego wartości) na końcach ww. rurki wytwarza się różnica ciśnień przetwarzana za pomocą pojemnościowego czujnika ciśnienia (rys. 2), tj. zostaje przetworzona na zmianę pojemności, gdyż membrana czujnika pod wpływem różnicy ciśnień powoduje zmianę odległości od dwóch elementów obudowy – okładek kondensatorów. Te dwie pojemności włączone są w układ mostka w celu zwiększenia klasy dokładności pomiaru (rys. 3). Zmiany powyższych pojemności, będące miarą zmian ciśnienia w rurce gazowej, są przetwarzane w układzie elektronicznym (rys. 4).

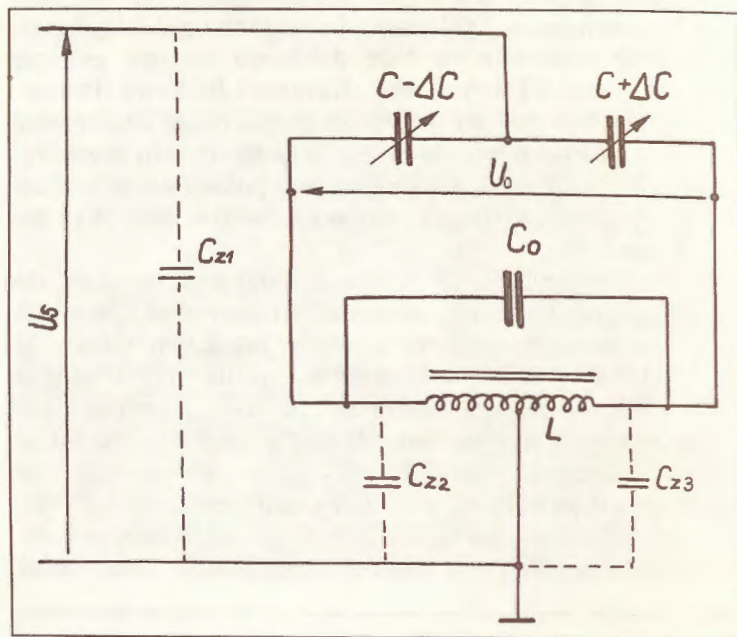
Jak dowiodły doświadczenia oraz analiza występujących zjawisk, rurka gazowa może być dowolnie ukształtowana, zaś na jakość pomiaru nie wpływają w zasadzie momenty w osiach niepomiarowych. Równocześnie należy zaznaczyć, że stosując odpowiednie dławiki (zwężki) w miejsce wejścia rurki spiralnej do pojemnościowego czujnika ciśnienia uzyskuje się na wyjściu gazowego czujnika przemieszc-



Rys. 1. Gazowy czujnik ruchu kąowego – organ pomiarowy: 1 – rurka o średnicy $2r$ napełniona gazem, 2 – pojemnościowy czujnik różnicy ciśnień, R – promień linii śrubowej rurki 1



Rys. 2. Pojemnościowy czujnik różnicy ciśnień – przekrój: 1 – elektroda zewnętrzna (okładzina zewnętrzna kondensatora), 2 – membrana-elektroda środkowa (okładzina środkowa kondensatora), d – wstępna (spoczynkowa) szczelina kondensatora, C – pojemność (spoczynkowa) kondensatora, tj. pojemność między membraną 2 a jedną z elektrod zewnętrznych, ΔC – przyrost pojemności w wyniku zmiany różnicy ciśnień, tj. zmiany położenia (środk) membrany



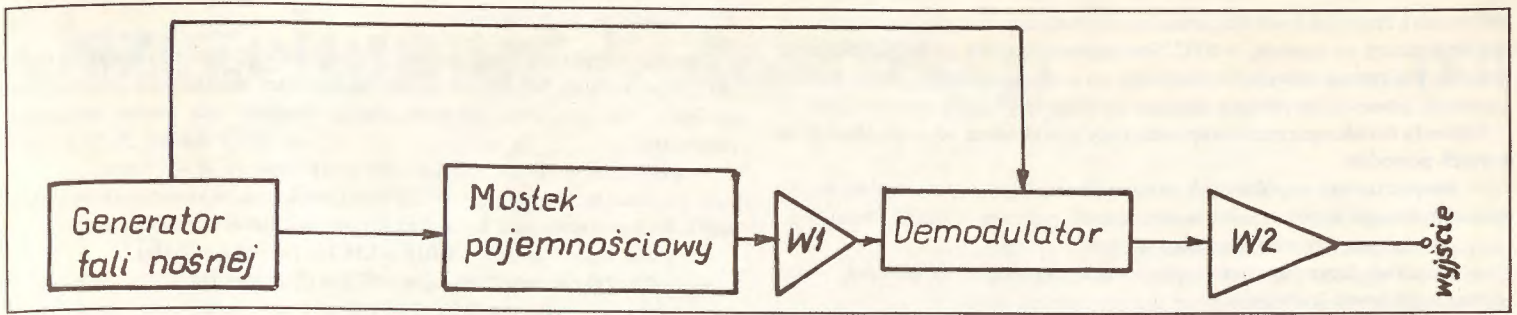
Rys. 3. Mostek pojemnościowy: C_0 – pojemność kondensatora dodatkowego, L – indukcyjność cewki, C_{z1} , C_{z2} , C_{z3} – pojemności pasozytnicze (zakłócające), U_0 – napięcie pomiarowe na przekątnej mostka

czeń kąowych sygnał elektryczny proporcjonalny odpowiednio do: przyspieszenia, prędkości albo przemieszczenia kąowego.

1. Analiza fizyczna czujników ruchu kąowego

1.1. Czujnik przyspieszenia kąowego

Jeżeli sygnał wejściowy (zmiana przemieszczenia kąowego) ma częstotliwość znacznie niższą niż częstotliwość własna czujnika, to wielkość mierzona (różnica ciśnień na końcu rurki gazowej) jest proporcjonalna do przyspieszenia kąowego. W tym wariancie dławik-zwężka powinien wnosić minimalne tłumienie (powinien mieć odpowiednio dużą średnicę i małą długość). Z kolei konstrukcja pozostałych elementów, w celu uzyskania odpowiednio dużej częstotliwości własnej, musi



Rys. 4. Schemat blokowy elektronicznego układu przetwarzania w gazowym czujniku ruchu kąтового: W1 – wzmacniacz szerokopasmowy, W2 – wzmacniacz prądu stałego z filtrem środkowoprzepustowym (do filtrowania fali nośnej)

zapewnić odpowiednio duży promień cewki gazowej R , promień membrany a , liczbę zwojów n , zaś materiał membrany musi być odpowiednio sprężysty. Zależności te można przedstawić za pomocą wzoru:

$$\omega_n = \frac{2r}{a^2} \sqrt{\frac{S}{\pi \cdot \rho \cdot R \cdot n \cdot (1 + \beta + \gamma)}}$$

gdzie:

- ω_n – pulsacja własna ($\omega_n = 2 \cdot \pi f_n$, gdzie f_n – częstotliwość własna),
- r – promień rurki gazowej,
- a – promień membrany,
- S – współczynnik naprężenia membrany,
- ρ – gęstość właściwa gazu,
- n – liczba zwojów rurki gazowej,
- β – współczynnik zależny od rodzaju przepływu (dla profilu parabolicznego występującego przy małych prędkościach przepływu $\beta = 1/3$, dla przepływu równomiernego występującego przy dużych prędkościach przepływu $\beta = 1$),
- współczynnik wynikający z zastosowania zwężki (przy zmniejszeniu średnicy zwężki γ rośnie).

W czujniku przyspieszeń kątowych dominuje siła sprężystości membrany – przy silnym jej naprężeniu istnieje możliwość pomiaru sygnału o częstotliwości zbliżonej do częstotliwości własnej. Przy każdym poziomie naprężania membrany występuje pewne opóźnienie czasowe pomiaru zwiększające się z chwilą zbliżania do częstotliwości własnej.

1.2. Czujnik przemieszczenia kątowego

Jeżeli częstotliwość sygnału wejściowego (zmian przemieszczenia kątowego) jest większa od częstotliwości własnej czujnika, to różnica ciśnień na końcu rurki gazowej jest proporcjonalna do przemieszczenia kątowego. W tym układzie masa gazu „zamknięta” w czujniku gazowym „nie nadąża” (jeśli chodzi o przemieszczenie) za zmianami kątowymi – dominuje siła bezwładności.

W czujnikach przemieszczenia kątowego stosuje się dławiki-zwężki o znacznej długości i bardzo małych średnicach (w stosunku do czujników przyspieszeń). Bardzo korzystne okazało się stosowanie kilku zwęzek połączonych szeregowo.

W celu uzyskania odpowiednio dużej czułości, stosuje się znaczną liczbę zwojów – zwykle ok. 30 (zwiększa się w ten sposób masa gazu „zamkniętego” w rurce gazowej). Większa liczba zwojów jest niewskazana z uwagi na możliwość powstania lokalnych rezonansów w rurce gazowej.

1.3. Czujnik prędkości kątowej

Jeżeli częstotliwość sygnału wejściowego (zmian przemieszczenia kątowego) jest zbliżona do częstotliwości własnej, zaś gazowy czujnik ruchu kątowego charakteryzuje się dużym współczynnikiem tłumienia (dławik-zwężka o małej średnicy i znacznej długości), to różnica ciśnień na końcu rurki gazowej jest proporcjonalna do prędkości kątowej. Aby praca czujnika była poprawna, niezbędne jest zapewnienie stałego współczynnika tłumienia, co jest praktycznie możliwe tylko dla stosunkowo małego zakresu częstotliwości sygnału (kątowego) wymuszającego.

Wraz ze zmniejszeniem średnicy dławika-zwężki, szerokość pasma rozszerza się, lecz zmniejsza się czułość, tj. przy określonych prędkościach kątowych zmniejsza się odpowiadająca im różnica na końcach rurki gazowej.

W związku z powyższymi problemami realizacja techniczna gazowego czujnika prędkości kątowej jest trudna, zwłaszcza jeżeli chcemy mierzyć prędkość kątową w szerokim zakresie częstotliwości sygnału wejściowego.

2. Czujnik ciśnienia gazu – konstrukcja i analiza

Czujnik ciśnienia 2 służy do pomiaru różnicy ciśnień wytworzonych na końcach rurki gazowej 1 (rys. 1). Czujnik ten składa się z napiętej membrany-elektrody 2 (tj. okładziny środkowej kondensatora) umieszczonej między elektrodami zewnętr-

nymi kondensatora 1 (rys. 2). Jeżeli w rurce gazowej wytworzy się różnica ciśnień, spowoduje to zmianę pojemności między elektrodą środkową a elektrodami zewnętrznymi.

Aby uzyskać odpowiednią czułość czujnika, napięcie membrany 3 i szczelina początkowa d między elektrodami muszą być małe. Dążenie do uzyskania wysokiej czułości czujników gazowych jest szczególnie istotne z uwagi na małe różnice ciśnień uzyskiwane na końcach rurki gazowej – zazwyczaj osiągają one wartość 10–100 Pa. Jednocześnie ze względu na wymagania co do sztywności membrany, z uwagi na dynamikę pracy (całego) gazowego czujnika przemieszczeń kątowych (patrz pkt. 1) w przyspieszeniomierzach kątowych wymagana jest zazwyczaj duża sztywność niezbędna do uzyskania odpowiedniej szerokości pasma. Tak więc sztywność membrany musi być dobrana optymalnie tak, aby zapewnić odpowiednio wysoką czułość pomiaru i odpowiednią dynamikę pomiaru.

Względny przyrost pojemności czujnika ciśnienia gazu można wyrazić wzorem:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{\pi \cdot R^2 \cdot n \cdot p \cdot (2a^2 - b^2)}{4Sd} \cdot \ddot{\alpha}$$

gdzie:

- a – promień membrany (okładziny środkowej kondensatora),
- b – promień elektrody (okładziny zewnętrznej kondensatora),
- d – szczelina początkowa (spoczynkowa) między elektrodą środkową a elektrodami zewnętrznymi,
- $\ddot{\alpha}$ – wejściowe przyspieszenie kątowe.

Jak widać ze wzoru, względny przyrost pojemności zależy wprost proporcjonalnie od: średnicy zwojów rurki gazowej – przy wzroście R zwiększa się moment bezwładności gazu, ciśnienia początkowe gazu i liczby zwojów (wraz ze wzrostem p i n wzrasta masa gazu „zamknięta” w rurce gazowej) oraz różnicy między kwadratem promienia elektrody środkowej a a zewnętrznej b (membrana tylko środkową częścią zbliża się lub oddala od odpowiedniej elektrody zewnętrznej).

3. Przetwarzanie sygnałów elektrycznych

Pojemnościowy czujnik ciśnienia ma zazwyczaj łączną pojemność początkową (wraz z pojemnościami przewodów) ok. 100 pF lub więcej, zaś zmiana pojemności ΔC wynosi zazwyczaj 0,1 pF. Problem pomiaru bardzo małych zmian pojemności na tle znacznie większych pojemności został rozwiązany przez Blumleina ponad 40 lat temu. Jego rozwiązanie polega na wykorzystaniu mostka z gałęziami sprzężonymi indukcyjnie, gdzie wszystkie zakłócenia są doprowadzone do naturalnej końcówki mostka, zazwyczaj uziemionej (rys. 3).

W takim układzie pojemności zakłócające – bocznikujące źródło i wyjście mostka, nie wpływają na jego zrównoważenie.

Całość układu przetwarzania sygnałów elektrycznych składa się z mostka pojemnościowego, źródła zasilania – generatora prądu przemiennego (sinusoidalnego lub prostokątnego), układu modulacji częstotliwościowej, wzmacniacza szerokopasmowego, demodulatora – prostownika fazoczułego (zmieniającego sygnał o modulacji częstotliwościowej na odpowiedni sygnał zmienny prądu stałego), wzmacniacza prądu stałego (o małym wzmocnieniu) wyposażonego w filtr środkowozaporowy do usuwania częstotliwości nośnej.

4. Dane odnośnie do praktycznie stosowanych gazowych czujników ruchu kątowego

4.1. Czujniki przyspieszenia kątowego

Stwierdzono, że skonstruowane prototypowe przetworniki przyspieszenia kątowego i przemieszczenia spełniają wymagania stawiane im przez projektantów. Pewna liczba gazowych czujników przyspieszeń kątowych o zakresie przyspieszeń kątowych $\pm 10 \text{ rad/s}^2$, o częstotliwości własnej $f_n = 10 \text{ Hz}$ była wykonana i użyta z powodzeniem w próbach broni. Membrana czujnika ciśnienia była wykonana z poliestru o grubości $4 \mu\text{m}$ metalizowanego aluminium (poliestry charakteryzują się małym współczynnikiem rozszerzalności liniowej zbliżonym do

aluminium). Praktyka dowiodła, że można uzyskać zadowalające charakterystyki dla temperatury co najmniej $+60^{\circ}\text{C}$. Stwierdzono również, że wilgotność może spowodować zmianę naprężenia membrany, co w omawianym przypadku jest bez znaczenia, ponieważ membrana znajduje się przez cały czas w suchym gazie.

Elementy dociskające membranę i elektrody są wykonane ze stopu aluminium z trzech powodów:

- temperaturowy współczynnik rozszerzalności tego stopu jest zbliżony do temperaturowego współczynnika rozszerzalności poliestru (różnica $5 \text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$),
- stop ten jest łatwy do obróbki,
- umożliwia łatwe uzyskanie izolacji elektrycznej przez anodowanie – nie wymaga odrębnych izolatorów.

Zastosowane czujniki przyspieszeń kątowych miały długość 85 mm i średnicę zewnętrzną czujnika 40 mm, średnicę linii śrubowej cewki gazowej $R = 15 \text{ mm}$. Były zasilane ze źródła 14 V i zapewniały napięcie wyjściowe przy pełnym zakresie wymuszeń (tj. $\pm 10 \text{ rad/s}^2$) $\pm 3 \text{ V}$. Mostek pojemnościowy był zasilany ze źródła impulsów o przebiegu prostokątnym o napięciu 9 V i częstotliwości 100 Hz, stabilizowanym przez dwie diody Zenera w układzie przeciwobnym. Za mostkiem, którego gałęzie indukcyjne stanowiły cewki indukcyjne nawinięte na rdzeniu ferrytowym toroidalnym, utworzono wzmacniacz fali nośnej o współczynniku wzmocnienia 450. Sygnał ten ulegał następnie zdemodulowaniu, wzmocnieniu i przefiltrowaniu.

W czasie badań ww. czujniki poddano działaniu przyspieszeń liniowych 100 g i uderów o przyspieszeniach 500 g (dla porównania – w próbach urządzeń awionicznych stosuje się przyspieszenia liniowe 4 g i udary 15 g). Projektanci czujnika twierdzą, że jego konstrukcja wytrzyma znacznie większe przeciążenia. Jedynym mankamentem jest możliwość pracy w małym zakresie temperatur ujemnych (tylko do -40°C), co zapewne zmusi konstruktorów do montowania ww. czujników w termostatach.

4.2. Czujnik przyspieszenia kątowego

Gazowy czujnik przyspieszenia kątowego, o takich samych wartościach napięcia zasilania i analogicznej konstrukcji pojemnościowego czujnika ciśnienia, został również skonstruowany i przebadany z wynikiem pozytywnym. Jest on przeznaczony do działania w zakresie częstotliwości (sygnału pomiarowego) 2–15 Hz. Można nim mierzyć przemieszczenia kątowe $\pm 5^{\circ}$ ($\pm 0,087 \text{ rad}$). Charakteryzuje się częstotliwością własną $f = 0,6 \text{ Hz}$ ($\omega_n = 4,0 \text{ Hz}$). Może być stosowany w temperaturze od $+60$ do -18°C . Średnica rurki gazowej $r = 0,61 \text{ mm}$, średnica zewnętrzna linii śrubowej cewki gazowej $R = 15 \text{ mm}$, liczba zwojów 30, szczelina początkowa pojemnościowego czujnika ciśnienia $d = 100 \mu\text{m}$.

Czujnik przemieszczenia kątowego wypróbowano z wynikiem pozytywnym w dwuosiowym układzie kompensowania efektów drgań podstawy kamery telewizyjnej ISOCON (ruch podstawy mierzony przez gazowy czujnik przemieszczenia kątowego przekazywany w postaci sygnału elektrycznego, po odpowiednim przekształceniu w układzie elektrycznym był przekazywany na wzmacniacz wizji w celu przesuwania obrazu tak, aby skompensować przemieszczenia kątowe podstawy kamery). Błędy pomiarowe osiągane przy powyższej metodzie okazały się mniejsze niż przy użyciu podobnych układów działających na bazie żyroskopów prędkościowych. W tym zastosowaniu gazowe czujniki przyspieszenia kątowego uznano za idealne urządzenie ze względu na:

- niehałaśliwą (cichą) pracę,
- małe zużycie energii,
- długi okres użytkowania bez naprawy.

4.3. Czujniki prędkości kątowej

Gazowe czujniki prędkości kątowej, z uwagi na trudności konstrukcyjne (patrz pkt 1.3) nie znalazły dotychczas zastosowania ani też nie doczekały się praktycznej realizacji. Na podstawie wstępnej analizy czujnik taki miałby następujące parametry:

- średnica zewnętrzna linii śrubowej cewki gazowej $R = 15 \text{ mm}$,
- średnica rurki gazowej $r = 1,25 \text{ mm}$ (zwiększona w stosunku do czujników prędkości i przyspieszenia kątowego w celu zwiększenia czułości czujnika),
- pasmo przenoszenia $f = 0,016 \div 3,18 \text{ Hz}$ ($\omega = 0,1 \div 20 \text{ Hz}$),
- pulsacja drgań własnych $\omega_n = 8,89 \text{ Hz}$ ($f_n = 1,41 \text{ Hz}$),
- zakres pomiarowy $\pm 50^{\circ}/\text{s}$ ($0,87 \text{ rad/s}$),
- zakres zmian pojemności przy pełnym zakresie prędkości kątowej 0,015 wartości pojemności całkowitej.

5. Kierunki zmian prac rozwojowych

Ponieważ różnica ciśnień powstająca w czujniku nie zależy od kształtu rurki gazowej, więc można ją kształtować w dowolny sposób. Umożliwi to optymalne wykorzystanie przestrzeni – m.in. zbudowanie trójosiowego czujnika ruchu kątowego, gdzie trzy cewki gazowe wzajemnie prostopadłe „zachodzą” na siebie (zajmują praktycznie biorąc tę samą przestrzeń co jeden jednoosiowy czujnik przemieszczeń kątowych).

Wydaje się również prawdopodobne stosowanie gazowych czujników przemieszczeń kątowych „przestrzennie” rozłożonych np. w modele automatyki sterowania – uzyskano by wówczas duży promień linii śrubowej cewki gazowej, a w związku z tym większą czułość i szersze pasmo pomiarowe. Równocześnie można by zmniejszyć ciśnienie gazu w rurce gazowej (ciśnienie ładowania), co pozwoliłoby na pracę czujników w niższej niż dotychczas temperaturze.

Niemożliwość pracy w pełnym zakresie ujemnych temperatur wymaganych przez normy lotnicze uniemożliwia pełne wykorzystanie czujników gazowych w awionice. Istnieje oczywiście możliwość zastosowania termostatu, lecz zwiększa to koszty i prawdopodobieństwo awarii układu.

* * *

Gazowe czujniki ruchu kątowego są przyrządami o prostej konstrukcji. Ich naturalne wyważenie i brak delikatnych elementów ruchomych powodują, że są one bardzo trwałe, nawet w warunkach wyjątkowo dużych uderów i wibracji.

Z uwagi na ich liczne zalety, gazowe czujniki ruchu kątowego mogą znaleźć zastosowanie w wielu dziedzinach lotnictwa, kosmonautyki, uzbrojenia i innych.

Artykuł wpłynął do redakcji w 1989 r.

LITERATURA

1. LEJGH P.G.: Use of the angular accelerometer for stabilisation and control. Systron-Donner Corporation.
2. MACDONALD W.R.: A guide to the design and performance of angular acceleration transducers with gas rotors. RAE Technical Report 74146 (1974).
3. MACDONALD W.R.: Three-axis angular accelerometers. UK Patent application No. 9436/76 (1976).
4. KNIGHT J.: The flow gas in an oscillating tube with a fluctuating axial pressure gradient. RAE Technical Report 74030 (1974).
5. BLUMLEIN A.D.: British Patent 323037.
6. COLE P.W., WHITALL J.S.: A gas rotor acceleration transducer for measuring low angular accelerations. RAE Technical Memorandum IT 160 (1976).

Reklama

w Kwartalnym Dodatku Specjalnym
do „AERO — Techniki Lotniczej”

gwarantuje dotarcie informacji o Waszym Przedsiębiorstwie
i produkowanych wyrobach lub świadczonych usługach
— do zainteresowanych nimi osób i firm

Informacje:

Redakcja „AERO — Techniki Lotniczej”

ul. Bartycka 20 pok. 54

00-716 Warszawa 36

tel./fax: (22) 40-38-02

Skorzystaj !!!

TOMASZ MAKOWSKI

Uwagi końcowe

Wszystkie typowe zastosowania i sposoby nanoszenia produktów uszczelniających zostały już omówione, istnieją jednak jeszcze inne, warte wspomnienia, uszczelnienia szczególnego rodzaju:

- Uszczelnianie produktem Loctite. Jest to jeden z produktów mających właściwości utwardzania w kontakcie z metalami bez dostępu powietrza (tzw. produktów anaerobowych). Utwardzanie tych produktów można przyspieszyć przez podgrzanie lub stosując inne produkty nazywane aktywatorami.

- Uszczelnianie konstrukcji przekładkowych. Ten typ uszczelnień stosuje się tylko do konstrukcji przekładkowych (tj. składających się z wypełniacza ułowego między pokryciami metalowymi lub kompozytowymi oraz elementów brzegowych metalowych lub kompozytowych). Uszczelnianie konstrukcji przekładkowych jest szczegółowo opisane w dalszej części artykułu, wstępnie jednak można zasygnalizować występowanie trzech podstawowych typów uszczelnień, zależnie od ich położenia:

- uszczelnienia wewnętrzne (wykonywane z wykorzystaniem produktu Hysol — opisane w dalszej części artykułu — oraz doszczelnianie naroży i innych elementów),

- uszczelnianie zewnętrzne (wykonywane metodami opisywanymi wcześniej, takimi jak sznur w narożu, osłanianie, pokrywanie),

- uszczelnianie pokryw (przede wszystkim kompozytowych, zależnie od ich rodzaju).

- Uszczelnianie struktur kompozytowych. Jest to pewien szczególny rodzaj uszczelnienia stosowanego tylko do tych struktur i materiałów, tj. kompozytów. Uszczelnienie można wykonywać metodami określonymi poprzednio (sznur w narożu, międzywarstwa, montaż mocowań „na mokro”, osłanianie i in.) albo też metodami takimi jak dla konstrukcji przekładkowych.

PRZECIWSKAZANIA

Niejednokrotnie jest znacznie lepiej wiedzieć CZEGO NIE ROBIĆ i CZEGO UNIKAĆ niż CO i JAK ROBIĆ.

Zakazane jest:

- wiercenie, nawiercanie, rozwiercanie i wykonywanie innych podobnych czynności na produkcie międzywarstwowym niespolimeryzowanym; wyjątek stanowi nitowanie automatyczne,

- stosowanie produktu uszczelniającego w warunkach, gdy może on utracić przyczepność z powodu zanieczyszczeń (np. gdy w sąsiedztwie znajduje się operator wykonujący wiercenia lub podobne czynności),

- nakładanie produktu na inny, który jeszcze nie utracił przyczepności,

- nakładanie produktu na gwinty połączeń ostatecznych, dla których jest określony moment dokręcający,

- używanie twardych (np. stalowych) narzędzi, które mogą porysować części.

3.4. Naprawy i poprawki

Każda naprawa czy poprawka jest przypadkiem szczególnym i sposób jej wykonania musi być uzgodniony między konstruktorem, technologiem, produkcją i kontrolą jakości. W tym stadium produkcji, w którym jest wykonywana większość pokryw ochronnych (malowanie, uszczelnianie itp.) wszelkie produkty do mycia lub odtrawiania muszą być stosowane ze szczególną ostrożnością i muszą być czynnością wyjątkową.

3.5. Czyszczenie i mycie sprzętu

Podczas wykonywania uszczelnień oraz przygotowania i nakładania produktów używa się różnych naczyń i narzędzi, które ulegają zanieczyszczeniu tymi produktami. Muszą one być starannie oczyszczone lub umyte, aby uniknąć problemów związanych z ich stosowaniem do następnych czynności. Stosowane są dwie metody, zależnie od rodzaju sprzętu:

- do naczyń i narzędzi z tworzyw sztucznych (np. kubki plastikowe, szpatułki i noże z pleksi, naboje polietylenowe) stosuje się sposób polegający na pozostawieniu resztek produktu do spolimeryzowania, a następnie ich złuszczeniu, ponieważ produkty uszczelniające w praktyce nie przylegają do ww. materiałów,

- naczynia i urządzenia z metali (np. szpatuły ze stali nierdzewnej) oraz pędzle myje się w rozpuszczalnikach odpowiednich dla używanego produktu (są one wymienione w odpowiednich dokumentach produktów); naczynia i urządzenia metalowe można też myć używając odtrawiaczy, jeśli wystąpią większe trudności w przypadku stosowania innych sposobów.

4. Kontrola

Choć rozdział ten dotyczy tylko kontroli, warto zapoznać się z zamieszczonymi w nim informacjami, gdyż uwypuklają one w pewien sposób najważniejsze aspekty wykonania uszczelnienia. Kontrola dotyczy trzech zagadnień.

4.1. Kontrola produktów

Musi być ona przeprowadzana zgodnie z własnymi instrukcjami użytkownika produktów. Produkty powinny być sprawdzane przy przyjęciu; można przy tym dokonać sondażowej (wyrwkowej) kontroli produktów w chwili ich użycia, polegającej na:

- mieszanii produktów przez mechaniczne pędzlowanie (szczotkowanie), a następnie sprawdzeniu jednorodności i wielkości pęcherzyków powietrza oraz ciągnięcia i grubości nitki produktu po spolimeryzowaniu,

- sprawdzeniu jednorodności składu mieszanki przez ocenę kolorystyczną,

- sprawdzeniu twardości produktu (spolimeryzowanego),

- wykonaniu próbek (powinny one być zaopatrzone w informacje dotyczące produktu, takie jak nr partii i starzenie się mieszanki przed zastosowaniem).

4.2. Kontrola czynności

Należy stwierdzić czy:

- wykonano czynności kontrolne na częściach podstawowych (sprawdzenie wymiarów, nieobecności pęknięć, wypływek, obróbki powierzchniowej, malowania itp.),

- dopasowanie jest prawidłowe (przez próbne zmontowanie),

- jest prawidłowe odtłuszczenie, oczyszczenie i wykonanie,

- poprawnie zastosowano produkty,

- spinanie i łączenie ostateczne odpowiada wybranej lub nakazanej metodzie z produktem spolimeryzowanym lub niespolimeryzowanym,

- przewidziane normami czasy polimeryzacji produktu były przestrzegane (czasy podane zależnie od temperatury i wilgotności w szczegółowych dokumentach produkcji),

- był zachowany czas utraty przyczepności przed położeniem kolejnej warstwy,

- operacje powodujące zanieczyszczenia (jak np. wiercenie) nie były wykonywane przed utratą przyczepności,

- był przestrzegany czas polimeryzacji przez pomalowaniem i próbą szczelności.

4.3. Kontrola personelu

Należy upewnić się, że wszystkie operacje zostały wykonane przez personel mający odpowiednie kwalifikacje.

5. Bezpieczeństwo i higiena

Poza kilkoma produktami wymagającymi nadzwyczajnych środków ostrożności ze względu na skład chemiczny, produkty uszczelniające są na ogół mało szkodliwe. Biorąc jednak pod uwagę znaczne zużycie rozpuszczalników podczas ich przygotowania, należy podjąć ogólne środki bezpieczeństwa przewidziane dla tego przypadku (dotyczy to stanowiska pracy i wyposażenia do ochrony osobistej pracownika).

5.1. Wyposażenie stanowiska pracy

Wyróżnia się w zasadzie dwie operacje wymagające ochrony:

- przygotowanie produktów na stanowisku stałym, specjalnie wyposażonym,
- zastosowanie produktów (na stanowisku stałym obok linii produkcyjnej – dla podzespołów, które można transportować lub wprost na linii produkcyjnej – gdy nie jest możliwy transport uszczelnianych podzespołów).

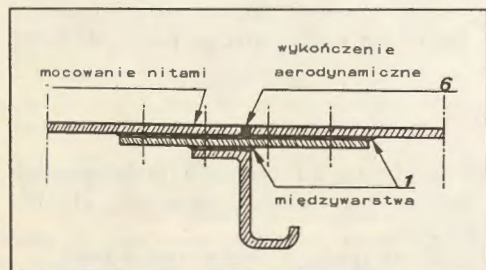
We wszystkich przypadkach rozpuszczalniki wymagają zastosowania instalacji i sprzętu pochłaniającego dostosowanego do konfiguracji części uszczelnianych. Na stanowisku przygotowania wystarczy zwykły wyciąg. W przypadku prac wewnątrz zamkniętych przestrzeni (np. kesonów) wyposażenie jest bardziej złożone, gdyż konieczne jest napowietrzanie świeżym powietrzem i noszenie maski pochłaniającej. Wszystkie te działania mają również na celu zapewnienie odpowiedniej jakości operacji przez zmniejszenie ryzyka zanieczyszczeń. Ważny jest także sprzęt przeciwpożarowy, ze względu na stosowanie łatwopalnych rozpuszczalników oraz przestrzeganie związanych z tym zasad bezpieczeństwa.

5.2. Wyposażenie do ochrony osobistej

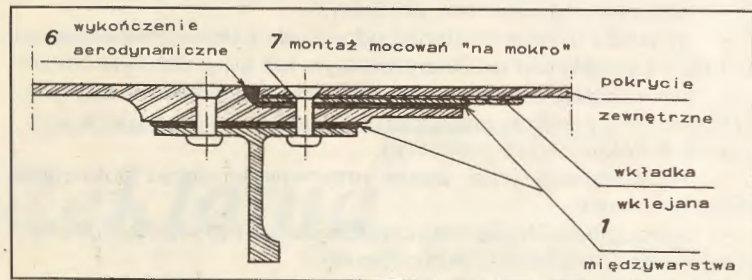
Należy poznać i stosować wszystkie elementarne zalecenia bezpieczeństwa i higieny pracy dotyczące używania produktów uszczelniających, rozpuszczalników i sprzętu do uszczelniania. Podstawowe zalecenia są następujące:

- noszenie rękawiczek z miękkiej gumy lub bawełny (należy przestrzegać ich czystości),
- noszenie maski ochronnej z filtrem-pochłaniaczem lub bezpośrednio podłączonej do źródła zasilania świeżym powietrzem; musi ona być używana, gdy wentylacja jest niedostateczna,
- mycie rąk przed jedzeniem lub paleniem papierosa (oczywiście poza stanowiskiem pracy),
- mycie rąk w ciepłej wodzie (30–35°C) w przypadku, gdy dojdzie do kontaktu skóry z przyspieszaczem,
- obfite przemywanie oczu czystą wodą w przypadku przeniknięcia do nich rozpuszczalnika.

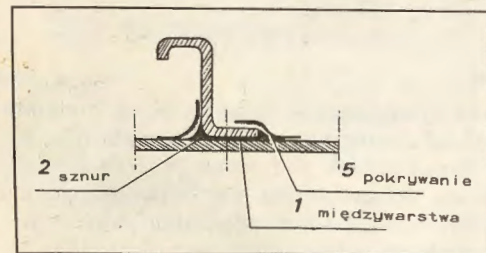
We wszystkich przypadkach należy stosować się do dokumentów



Rys. 33. Krawędzie pokryć w strefie nieciśnieniowej



Rys. 34. Połączenie wzdłużne w strefie uszczelnionej

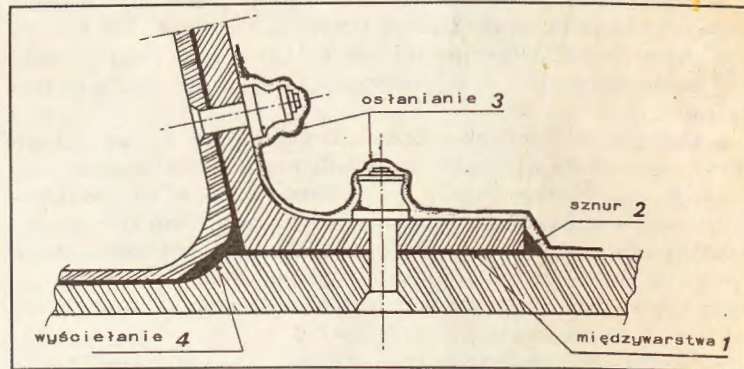


Rys. 35. Uszczelnienie antykorozyjne w strefach szczególnie narażonych na wilgoć i zbieranie się płynu hydraulicznego

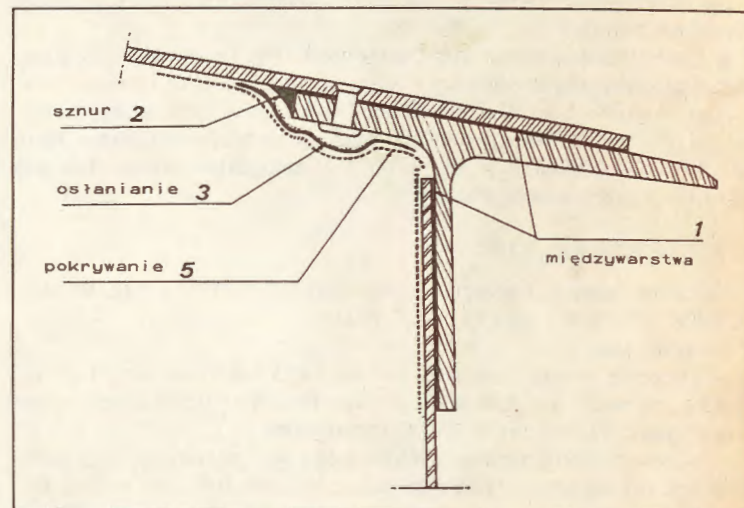
specyficznych dla produktu. Pozwala to uświadomić sobie grożące niebezpieczeństwa i zapoznać się ze sposobami ich uniknięcia.

6. Przykłady zastosowania

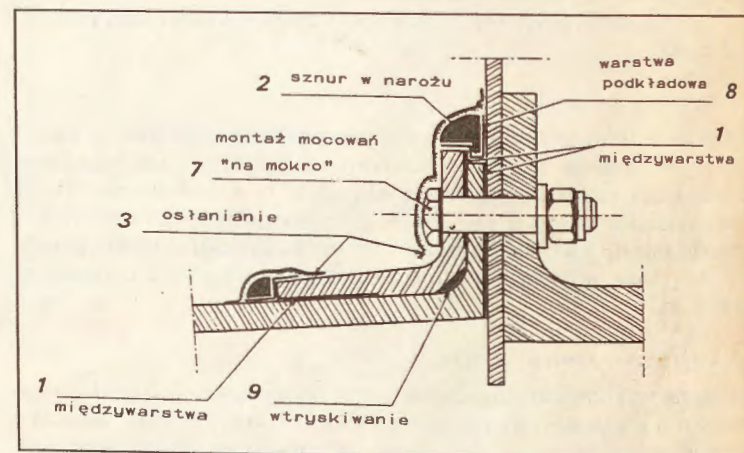
Zachowanie wszystkich zasad podanych wyżej powinno umożliwić prawidłowe wykonanie uszczelnień. Aby zwrócić większą uwagę służb technicznych na przestrzeganie tych zasad, w artykule zamieszczono kilka wybranych przykładów, które pokazano na rysunkach. Rys. 33, 34 i 35 dotyczą uszczelnień zapobiegających przenikaniu powietrza, wody i różnych płynów, a rys. 36, 37 i 38 – uszczelnień zapobiegających przedostawaniu się paliwa.



Rys. 36. Uszczelnienie na częściach strukturalnie ważnych



Rys. 37. Uszczelnienie na częściach strukturalnie ważnych, z warstwą ochronną dla pokrycia wewnętrznego



Rys. 38. Uszczelnienie na połączeniach ważnych elementów wewnętrznych (np. okuć)