

TRYMER

Działanie i skutki użycia

Słowo *trymer* pochodzi od angielskiego *trim*, co według „Słownika wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych” (Wiedza Powszechna 1968) znaczy: przegłębienie, przechył osi podłużnej statku w stosunku do poziomu morza, słowo *trymer* oznacza pracownika portowego zajmującego się trymowaniem, odpowiednim rozmieszczeniem ładunków masowych na statku dla zapewnienia jego równowagi na morzu. Tak więc sens słowa *trim* (*trym*) odnosi się do masowego wyważenia statku – do położenia jego środka masy (ciężkości).

W lotnictwie słowo *trymer*, w odróżnieniu od terminu *wyważenie masowe*, związane jest z aerodynamicznym zrównoważeniem statku powietrznego (samolotu). Niestety, w praktyce lotniczej oba pojęcia – *wyważenie* i *zrównoważenie* – są mylone, co niejednokrotnie prowadzi do merytorycznych nieporozumień.

Jeżeli określono wyważeniu, czyli położeniu środka ciężkości (\dot{sc}) samolotu na średniej cięciwie aerodynamicznej (\dot{SCA}), przy neutralnym położeniu steru wysokości i przy $Ma < Ma_{kr}$, odpowiada tylko jedna prędkość zrównoważenia samolotu, to odpowiednio wychylając ster wysokości, możemy samolot zrównoważyć przy każdej użytkowej prędkości. Oczywiście, wychylenie steru poza neutralne położenie wymaga przyłożenia do drążka odpowiedniej siły. Aby uniknąć przykładania tej siły, odpowiednio wychyla się trymer.

Trymery stosowane są we wszystkich układach sterowania samolotu. W samolotach, w których zespół napędowy znajduje się w ich osi podłużnej lub blisko niej, w układzie sterowania kierunkowego najczęściej montuje się odginane na ziemi listwy kompensacyjne.

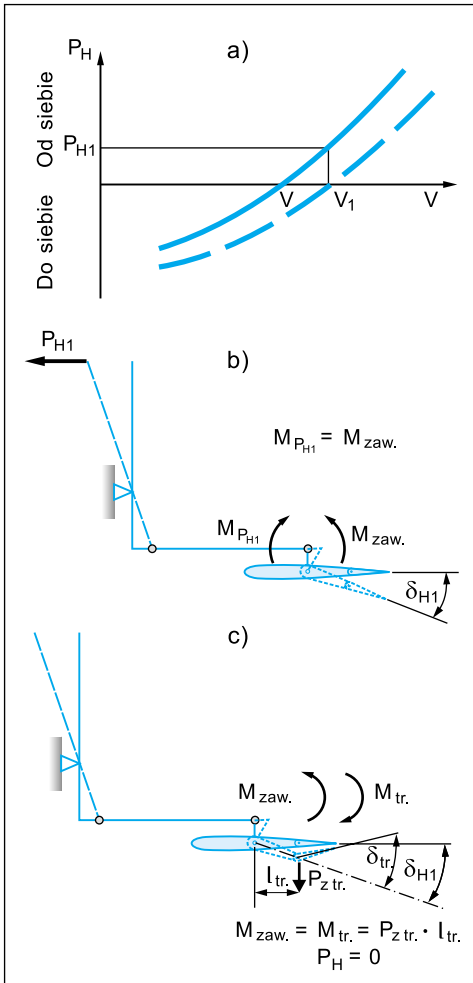
W czasie lotu samolotu najczęściej używany jest trymer w układzie sterowania po-

dłużnego. **Właściwe użytkowanie trymera ułatwia lot, a nawet pozwala wyjść z opresji, natomiast jego niewłaściwe użytkowanie może doprowadzić do katastrofy.**

Rozróżnia się dwa rodzaje trymerów: do klasycznego układu sterowania, w którym zachodzi sprzężenie zwrotne między obciążeniem aerodynamicznym występującym na usterzeniu wysokości i drążkiem sterowym, oraz do układu, w którym – z powodu zastosowania wzmacniacza hydraulicznego o nieodwracalnym schemacie działania – takiego sprzężenia nie ma. Pierwszy układ stosowany jest w samolotach poddźwiękowych, drugi w samolotach naddźwiękowych. W obu przypadkach zadaniem trymera (mechanizmu efektu trymerowego – w przypadku samolotów naddźwiękowych) jest likwidowanie siły na drążku sterowym w locie ustalonym.

Trymer w układzie sterowania podłużnego samolotu poddźwiękowego

Każdy samolot poddźwiękowy przy neutralnym położeniu steru wysokości i przy danym położeniu środka ciężkości ma określoną prędkość zrównoważenia, przy której siła na drążku sterowym jest równa zeru (rys. 1a). Jeśliby, utrzymując lot poziomy samolotu mającego stateczność statyczną przy zmianie prędkości ($\Delta P_z / \Delta V > 0$), przez zwiększenie ciągu zespołu napędowego zwiększyć jego prędkość od prędkości zrównoważenia przy neutralnym położeniu steru wysokości V do V_1 , wówczas zaistniałaby konieczność odpowiedniego wychylenia steru wysokości przez przyłożenie do drążka siły „od siebie”, równej P_{HI} (rys. 1b). Aby jednak doprowadzić do zlikwidowania siły na drążku P_{HI} przy nowej prędkości V_1 , jednocześnie pozostawiając –



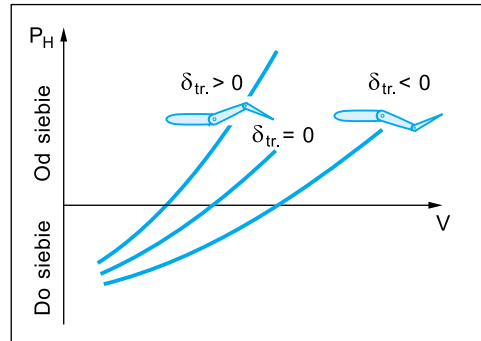
Rys. 1. Zależność siły na drążku sterowym od prędkości samolotu (a), schemat układu sterowania podłużnego (b), działanie trymera (c)

potrzebne do zrównoważenia samolotu – wychylenie steru wysokości, tak trzeba wychylić trymer tego steru, aby zrównoważyć moment zawiasowy steru wysokości momentem od trymera (rys. 1c). Zaistnieje wówczas stan opisany krzywą przerywaną na rys. 1a.

Na rys. 2 przedstawiono zależność siły na drążku sterowym od prędkości samolotu dla różnych wychyleń trymera.

Należy zauważyć, że charakter krzywych $P_{H(V)}$ zależy od prędkości samolotu. Im mniej-

¹ W. N. Miednikow: *Dynamika poleta i pilotowani-je samolotow.* Monino 1976.



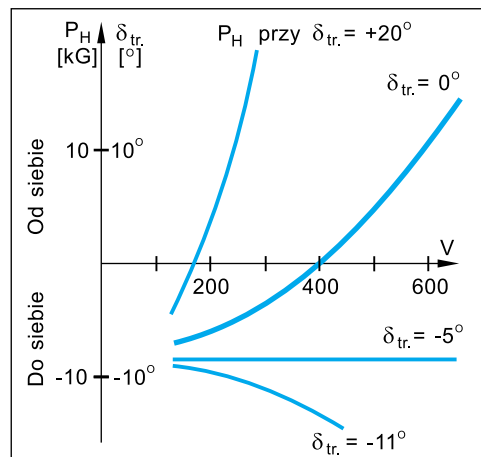
Rys. 2. Wykres $P_{H(V)}$ dla różnych wychyleń trymera

sza jest ta prędkość od prędkości zrównoważenia samolotu przy neutralnym położeniu steru wysokości, tym większe jest wychylenie steru przy takiej samej zmianie prędkości i tym większe powinno być wychylenie trymera, aby zlikwidować P_H .

Uwzględniając to, rozpatrzmy¹ działanie trymera steru wysokości na przykładzie samolotu L-29 o masie 3000 kg, którego prędkość minimalna wynosi 170 km/h, a prędkość zrównoważenia przy neutralnym położeniu steru wysokości – 400 km/h. Zjawiska będą rozpatrywane w odniesieniu do sytuacji, gdy drążek sterowy jest utrzymywany przez pilota.

Z wykresów przedstawionych na rys. 3 wynika, że:

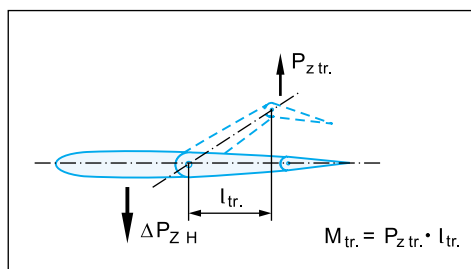
- ♦ Zrównoważenie samolotu w locie poziomym, przy prędkościach mniejszych niż



Rys. 3. Wykresy zrównoważenia samolotu L-29

prędkość 400 km/h, wymaga wychylenia steru wysokości przez wychylenie drążka „do siebie” z siłą P_H . Aby zlikwidować siłę na drążku, trzeba wychylić trymer krawędzią spływu do dołu – na wznoszenie (+).

- ♦ Aby zrównoważyć samolot przy prędkości minimalnej, wychylenie trymera powinno wynosić +20. W takim położeniu trymera znacznie zwiększa się gradient stosunku przyrostu siły na drążku do przyrostu prędkości ($\Delta P_H/\Delta V$), w związku z czym pilot bardzo wyraźnie odczuwa zmianę prędkości na podstawie zmiany wielkości siły przyłożonej do drążka; towarzyszy temu zwiększenie stateczności podłużnej samolotu przy zmianie prędkości.
- ♦ Zrównoważenie samolotu przy prędkości większej niż 400 km/h następuje przy odwrotnym wychyleniu trymera – krawędzią spływu ku górze, na nurkowanie (-); maleje gradient $\Delta P_H/\Delta V$, zmniejsza się stateczność statyczna podłużna samolotu przy zmianie prędkości, słabnie możliwość wyczucia przez pilota zmiany prędkości.
- ♦ Zrównoważenie samolotu przy prędkości większej niż 400 km/h następuje przy odwrotnym wychyleniu trymera – krawędzią spływu ku górze, na nurkowanie (-); maleje gradient $\Delta P_H/\Delta V$, zmniejsza się stateczność statyczna podłużna samolotu przy zmianie prędkości, słabnie możliwość wyczucia przez pilota zmiany prędkości.
- ♦ Jeśli przy dużych prędkościach trymer zostanie nadmiernie wychylony na nurkowanie, samolot może się stać obojętny w zakresie sterowania podłużnego; znaczy to, że przyrostowi prędkości nie towarzyszy przyrost siły na drążku – $\Delta P_H/\Delta V = 0$. W takim przypadku mamy do czynienia z obojętną statecznością statyczną samolotu przy zmianie prędkości (na rys. 3 – prosta oznaczona $\delta_{tr} = -5^\circ$).
- ♦ Przy dalszym wychylaniu trymera na nurkowanie samolot staje się niestateczny przy zmianie prędkości, a gradient $\Delta P_H/\Delta V$ staje się ujemny. Znaczy to, że podczas zwiększania prędkości samolotu o ΔV zmniejsza się przyrost siły na drążku – ΔP_H ma wartość



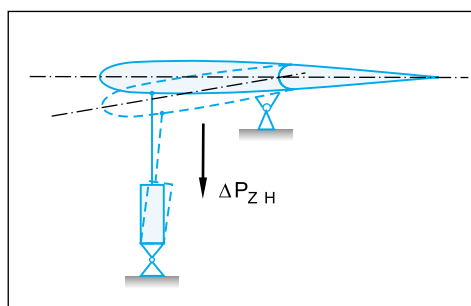
Rys. 4. Klasyczny trymer steru wysokości

ujemną. Zbliżanie się do stanu stateczności obojętnej przy zmianie prędkości, a szczególnie osiągnięcie stanu niestateczności może całkowicie zdezorientować pilota – może nastąpić przekroczenie dopuszczalnego przeciążenia normalnego samolotu.

W samolotach poddźwiękowych stosowane są różne rozwiązania konstrukcyjne trymerów układu sterowania podłużnego i różne sposoby sterowania tymi trymerami.

Sterowanie trymerem klasycznym może się odbywać bezpośrednio – ręcznie lub zdalnie, za pomocą mechanizmu elektromechanicznego. Sterowanie ręczne jest korzystniejsze od sterowania zdalnego w sytuacjach awaryjnych, gdyż umożliwia wychylenie trymera z różnymi prędkościami kątowymi. Ma to istotne znaczenie podczas awaryjnego lądowania przy rozłączonym układzie podłużnego sterowania. Sterowanie zdalne umożliwia wychylenie trymera z jednostajną prędkością kątową.

Trymerowanie samolotu przez zmianę kąta ustawienia statecznika poziomego jest bardziej czułe od klasycznego i na ogół odbywa się zdalnie, za pomocą mechanizmu elektromagnetycznego (samoloty *TS-11* i *I-22*).



Rys. 5. Trymerowanie poprzez zmianę kąta ustawienia statecznika poziomego

Trymer w układzie sterowania podłużnego samolotu naddźwiękowego

Ze względu na wyraźne zmniejszenie skuteczności steru wysokości przy prędkościach naddźwiękowych, samoloty naddźwiękowe zostały wyposażone w obrotowe stateczniki poziome. Znaczne obciążenie tych stateczników spowodowało konieczność zastosowania w układzie sterowania wzmacniaczy hydraulicznych o nieodwracalnym schemacie działania, a to z kolei przerwało sprzężenie zwrotne między obciążeniem aerodynamicznym statecznika poziomego i drążkiem sterowym. Dążąc do poprawności pilotowania, trzeba było zasymulować gradient stosunku przyrostu siły na drążku do przyrostu prędkości ($P_H/\Delta V$). Symulacji dokonano za pomocą układu sprężyn o regulowanym napięciu, mechanizmami elektromechanicznymi. W tym układzie rolę trymera spełnia mechanizm sprężynowy zwany mechanizmem efektu trymerowego (rys. 6).

Działanie efektu trymerowego następuje przez takie napięcie sprężyn mechanizmu obciążenia i efektu trymerowego, które przy określonym wychyleniu drążka sterowego likwiduje na nim siłę. Zachodzi więc podobieństwo funkcji trymera aero-

dynamicznego i mechanizmu efektu trymerowego.

Zasady użycia trymera (mechanizmu efektu trymerowego) podczas lotu

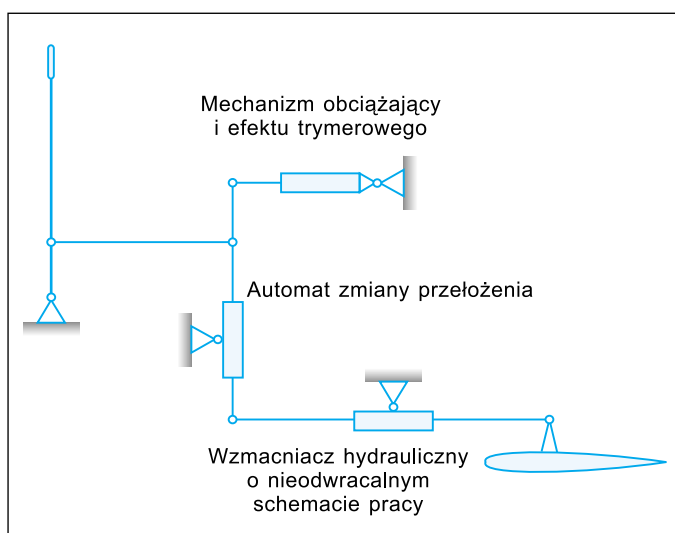
Zadaniem trymera (mechanizmu efektu trymerowego) jest zlikwidowanie siły na drążku sterowym podczas ustalonego lotu w zakresie użytkowych prędkości samolotu.

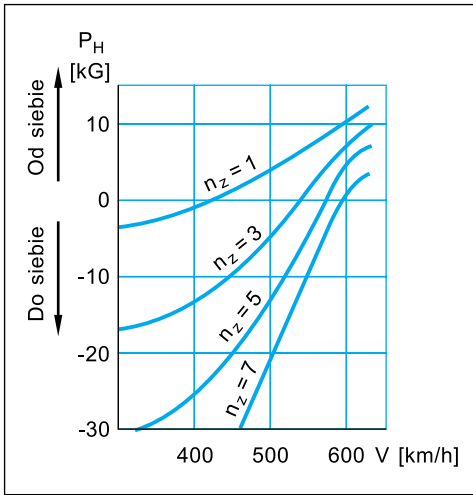
Nie zaleca się – a w niektórych instrukcjach pilotowania samolotu nawet zabrania się – używania trymera w układzie podłużnego sterowania podczas lotów niustalonych, a zwłaszcza w czasie wykonywania akrobacji. Jest to tym spowodowane, że likwidowanie siły na drążku sterowym w locie niustalonym pozbawia pilota możliwości „czucia” samolotu, a więc możliwości oceniania tempa zmiany prędkości i prognozowania narastania przeciążenia normalnego wysterowywanego wychyleniem drążka.

Zmiany zależności siły na drążku sterowym od przeciążenia normalnego i prędkości samolotu przedstawia rys. 7.

Na wykresach widać, jak zmienia się siła na drążku sterowym w zależności od przeciążenia normalnego. Im większe jest przeciążenie, tym większa jest siła na drążku, rośnie też gradient $\Delta P_H/\Delta V$.

Rys. 6. Schemat układu sterowania podłużnego samolotu naddźwiękowego





Rys. 7. Zależność $P_H(n_z, V)$

Skutki właściwego i niewłaściwego użytkowania trymera

Obserwując zdarzenia lotnicze zauważa się, że przyczyny wypadków lotniczych nierzadko się powtarzają. Warto więc przypomnieć te wypadki spowodowane przyczynami technicznymi, w których piloci, właściwie wykorzystując trymer steru wysokości, zdołali utrzymać samolot w locie tak długo, jak to było możliwe, oraz te, gdzie piloci, niewłaściwie użytkując trymer, spowodowali katastrofę.

Awaria samolotu TS-8 z 56. pszk (17 czerwca 1959 r.)

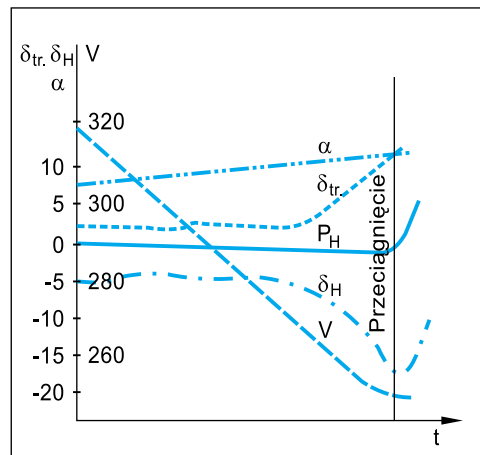
Przyczyną wypadku było rozłączenie się układu sterowania podłużnego samolotu na skutek zmęczeniowego pęknięcia jednego z popychaczy. Podchorąży z OSL-4, Kazimierz Chmielewski, gdy zorientował się, że ster wysokości nie działa, wykorzystując trymer tego steru sprowadził samolot do lądowania. I choć wskutek braku możliwości precyzyjnego sterowania doszło do tzw. twardego przyziemienia i samolot uległ zniszczeniu, to pilot nie odniósł poważniejszych obrażeń. Samolot wyposażony był w układ bezpośredniego sterowania trymerem za pomocą linek.

Katastrofa samolotu PLL LOT Il-62M w Lasku Kabackim (9 maja 1987 r.)

Podczas lotu wznoszącego nastąpiło rozerwanie dysków turbiny niskiego ciśnienia silnika D-30KU, których szczątki m.in. przecięły układ sterowania podłużnego samolotu. Kapitan Zygmunt Pawlaczyk, wykorzystując trymer steru wysokości, zniżył lot z wysokości 8100 m do 4000 m (dekompresja kabin) i wykonał zejście do lądowania. Silny pożar, który wybuchł w końcowej fazie lotu, spowodował zniszczenie okucia i rolki układu sterowania trymerem; przypuszczalnie nastąpiło też odkształcenie w dół tylnej części kadłuba, co pozbawiło pilota możliwości dalszego sterowania. Samolot zderzył się z ziemią. Wyposażony był w linkowy układ sterowania trymerem.

Przeprowadzono lot doświadczalny, w którym wykazano dużą skuteczność trymera steru wysokości do prędkości przeciągnięcia (rys. 8).

Oceniono, iż prawdopodobieństwo bezpiecznego wylądowania samolotu Il-62M, sterowanego przez doświadczonego pilota za pomocą trymera steru wysokości, wynosi około 50%. Problem tkwi w tym, że proces lądowania, a zwłaszcza wyrównania, wiąże się z ciągłym i szybkim poprawianiem nieprecyzyjnych ruchów sterownicą, mających na celu sprowadzenie samolotu na wysokość nie większą niż



Rys. 8. Zapis parametrów lotu samolotu Il-62M podczas sterowania podłużnego tylko trymerem steru wysokości

0,5 m nad powierzchnię drogi startowej. W normalnych warunkach pilot wykonuje te czynności, wysterowując siły aerodynamiczne bezpośrednio przez wychylanie steru wysokości; natomiast używając tylko trymera steru, wychyla ster pośrednio – najpierw trymer, potem ster. W takich warunkach pojawia się stała czasowa opóźnienia – czas potrzebny na uruchomienie trymera i reakcję steru. Pojawia się też niekorzystna różnica między sterowaniem poprzez sterownicę (wyraźnie odczuwalne ruchy sterownicy) a sterowaniem przez pokręcanie koła sterowania trymerem.

Katastrofa samolotu *MiG-21US* z 62. plm OPK (7 czerwca 1977 r.)

Podczas wykonywania „zaciągniętego” zakrętu podczas wznoszenia nad lotniskiem, przez bardzo doświadczonych pilotów (dowódcę pułku i jego zastępcę), doszło do przeciągnięcia samolotu i – w konsekwencji – do zderzenia z ziemią (rys. 9).

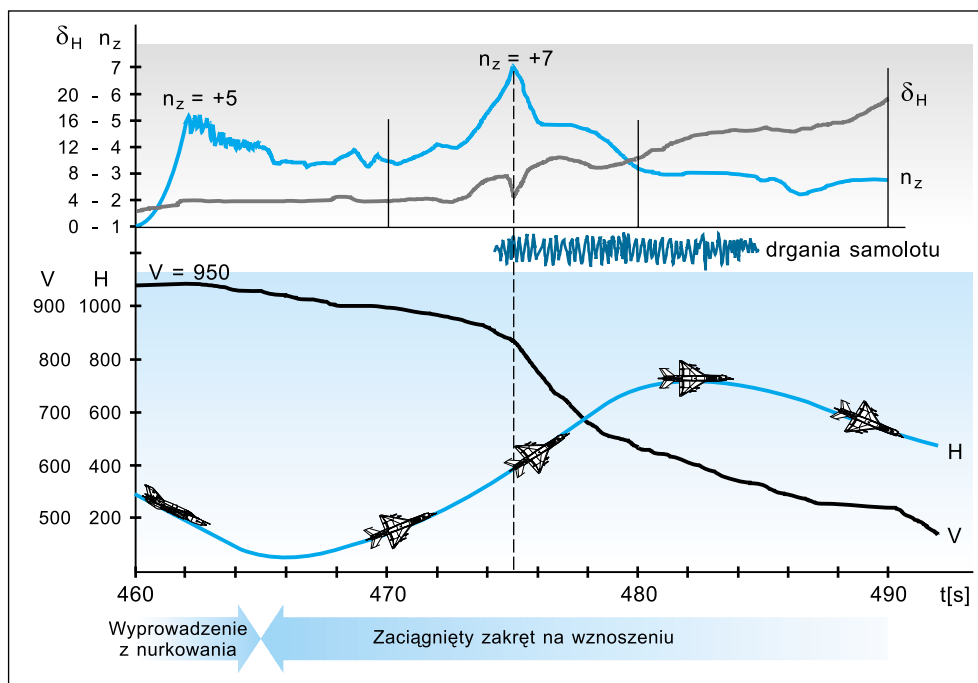
Na wykresach widać, że początek przeciągnięcia samolotu nastąpił w 475 sekun-

dzie lotu, po gwałtownym wysterowaniu przeciążenia normalnego 7. Prędkość w krótkim czasie (około 10 s) zmniejszyła się od 840 km/h do 600 km/h, przy czym pilot w dalszym ciągu utrzymywał duże wychylenie statecznika poziomego, wychylając drążek „do siebie”. Podczas ciągłego zmniejszania się prędkości pilot, zamiast wychylać drążek sterowy „od siebie”, by zmniejszyć kąt natarcia samolotu, nadal wychylał go „do siebie”.

Tak nieracjonalne działanie doświadczonej załogi można było wytłumaczyć położeniem mechanizmu efektu trymerowego. Był on prawie całkowicie ustawiony na wznoszenie samolotu. Zatem do zaistnienia katastrofy przyczyniło się niewłaściwe użytkowanie tego mechanizmu – znaczne zmniejszanie siły na drążku przy gwałtownym manewrowaniu.

Katastrofa samolotu *I-22 Iryda* z 58. Ipsz (24 stycznia 1996 r.)

Wykonując ostatni element akrobacji, którym miał być lot odwrócony, jak wskazuje zapis *SARPP-12*, załoga wykonała dwie se-



Rys. 9. Parametry lotu samolotu *MiG-21US* (7.06.1977 r.)

kwencje po dwie beczki, do których wprowadzenie odbyło się z lotu odwróconego. Po każdej sekwencji wyprowadzano samolot do lotu normalnego.

Po rozpoczęciu wykonywania trzeciej sekwencji beczek, w trakcie szybkiego przybliżania się prędkości do dopuszczalnej prędkości przyrządowej, przy maksymalnej prędkości obrotowej silnika i kącie zniżania około 35°, ustawieniu statecznika-trymera maksymalnie na nurkowanie, doszło do przekroczenia ujemnego dopuszczalnego przeciążenia, w wyniku czego została zniszczona konstrukcja samolotu.

Zapis parametrów lotu samolotu wskazuje na żywiołowe i nieracjonalne działanie załogi, wskazuje też na niewłaściwe użytkowanie trymera, którym wręcz wysterowywano potrzebne przeciążenia (rys. 10 – zakręt, wyprowadzenie i przejście na wznoszenie, przejście do lotu odwróconego). Ponieważ w ITWL nie znaleziono w układzie przedstawiania statecznika poziomego żadnych wad, wszystko wskazuje na to, że przedstawienia statecznika maksymalnie na nurkowanie (w locie odwróconym na wznoszenie) dokonała załoga. Przy takim ustawieniu statecznika-trymera samolot miał przy zmianie prędkości stateczność statyczną okołoobojętą lub nawet mógł być niestateczny.

Jak wcześniej wskazano, w takiej sytuacji załoga pozbawiona była prawidłowego „czucia” samolotu i wychylenie drążka „od siebie” przy okołozerowej sile na drążku lub nawet

przy sile działającej w kierunku „od siebie” doprowadziło do przekroczenia dopuszczalnego przeciążenia.

Wnioski

- Trymer (mechanizm efektu trymerowego) w układzie podłużnego sterowania służy do zrównoważenia samolotu w locie ustalonym, przy każdej użytkowej prędkości.
- Nie należy używać trymera (efektu trymerowego) w lotach nieustalonych, a więc podczas wykonywania akrobacji albo pojedynczych gwałtownych manewrów.
- Zgodnie z instrukcjami pilotowania, przed przystąpieniem do wykonywania figur akrobacji należy samolot zrównoważyć przy prędkości stosownej dla danego typu samolotu.
- Jak wynika z praktyki lotniczej – trymer (zwłaszcza z bezpośrednim sterowaniem) może być użyty w sytuacji awaryjnej, np. przy lądowaniu samolotu. Zmiany kąta wychylenia trymera powinny być ciągłe.

Bibliografia

1. *Słownik wyrazów obcych i zwrotów obcojęzycznych*. Wiedza Powszechna 1968.
2. Miednikow W. N.: *Dynamika poleta i pilotowanie samolotow*. Monino 1964.
3. Skljanski F. I.: *Uprawlenie swierchzhlukowo samolota*. Maszinstrojenje 1964.
4. Milkiewicz A.: *Podstawy praktycznej aerodynamiki i mechaniki lotu samolotu odrzutowego dla pilota*. Wyd. II, Lot. 1604/74.

Trimmer /mechanism of trimmer effect/ of longitudinal control system is used to balance the aircraft in steady flight of any used speed. The author talks over a trimmer of longitudinal control system of both subsonic and supersonic aircraft, principles of the trimmer usage and also gives examples of effects of its proper and improper usage.