



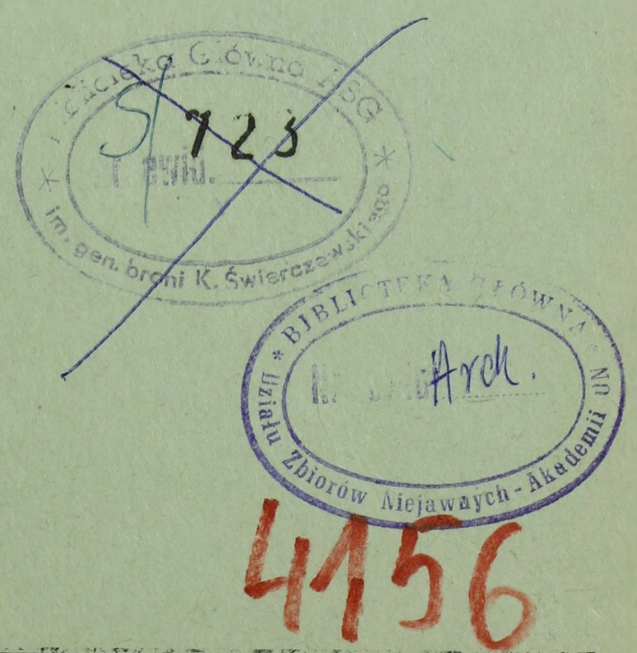
**AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO**  
im. Generała Broni Karola Świerczewskiego

ODDZIAŁ NR 2 KATEDRA 34

*Nr 292*  
*35*

mjr mgr Jerzy SIWICKI

**RADIOTECHNICZNE SYSTEMY LĄDOWANIA SAMOLOTÓW**  
(Skrypt)



**A K A D E M I A S Z T A B U G E N E R A L N E G O**  
**im. Generała Broni Karola Świerczewskiego**

---

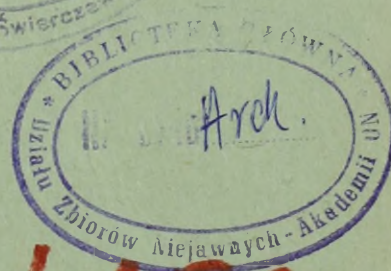
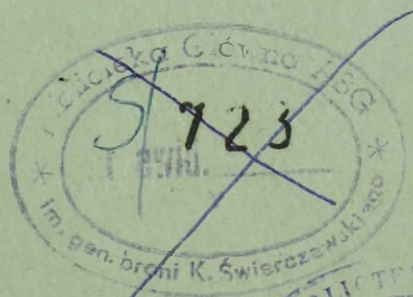
ODDZIAŁ NR 2 KATEDRA 34

*Nr egz  
35*

mjr mgr Jerzy SIWICKI

**RADIOTECHNICZNE SYSTEMY LĄDOWANIA  
SAMOLOTÓW**

(Skrypt)



4156

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO  
im. gen. broni K. Świerczewskiego

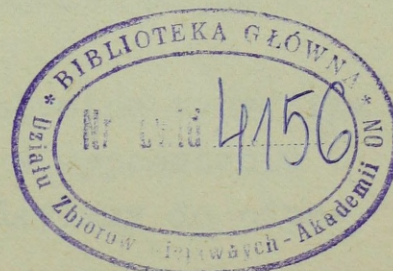
ODDZIAŁ NR 2 KATEDRA 34

35

mjr mgr Jerzy SIWICKI

RADIOTECHNICZNE SYSTEMY LĄDOWANIA SAMOLOTÓW

/Skrypt/



SPIS TREŚCI

Str.

W S T Ę P .....	3
1. Ogólna charakterystyka radiotechnicznych systemów lądowania samolotów .....	4
2. Przeznaczenie i możliwości systemów lądowania .....	9
3. Rodzaje radiotechnicznych systemów lądowania stosowa- nych w lotnictwie .....	11
4. Uproszczone systemy lądowania .....	12
5. System lądowania samolotów z przekazaniem linii planowania według przyrządów .....	15
6. System lądowania samolotów z wahającą się wiązką radiolatarni glisady .....	17
7. Systemy lądowania samolotów z przekazaniem linii planowania według komend z ziemi .....	20
8. Radiolokacyjna stacja lądowania z wykreśleniem linii kursu i planowania .....	21
9. Automatyczne lądowanie z wykorzystaniem radioloka- cyjnej stacji lądowania .....	26
10. Automatyzacja przyziemienia samolotu .....	30
LITERATURA .....	34

W S T Ę P

Rozwój środków napadu powietrznego oraz lotnictwa w ogóle stawia przed techniką radiolokacyjną, a w szczególności przed radiotechnicznymi systemami lądowania samolotów szczególne wymagania, dotyczące niezawodności działania i dokładności określenia współrzędnych śledzonych obiektów powietrznych.

W celu osiągnięcia żądanych wymagań, jakie stawia się przed radiotechnicznymi systemami lądowania, należy zwiększyć zasięg wykrywania obiektów powietrznych, zwiększyć dokładność pomiaru współrzędnych, niezawodność ciągłego śledzenia oraz zmniejszyć do niezbędnego minimum czas otrzymywania informacji o powietrznych obiektach nawigowanych.

Jednym z zadań współczesnej radionawigacji jest za -  
bezpieczenie ostatniego etapu lotu samolotów, jakim jest lądowanie, niezależnie od warunków meteorologicznych, za -  
równo w dzień, jak i w nocy. Zagadnieniu lądowania służba ruchu lotniczego <sup>poświęca</sup> szczególnie dużo uwagi zarówno w stosunku do potrzeb organizacyjnych, jak i technicznych.

W związku z powyższym w opracowaniu niniejszym zostały podane podstawowe pojęcia i określenia dotyczące zagadnień techniki lądowania samolotów oraz scharakteryzowane podstawowe wymagania jakie stawia się przed współczesnymi systemami lądowania. Naświetlono też przeznaczenie i możliwości wykorzystania radiotechnicznych środków lądowania. Całość opracowania przeznaczona jest dla czytelnika mało obeznanego z techniczną stroną sprzętu i podaje w sposób przystępny podstawowe typy radiotechnicznych systemów lądowania stosowanych zarówno w lotnictwie wojskowym jak i cywilnym.

W opracowaniu nie zostały omówione konkretne typy urządzeń i systemów lądowania znajdujących się w wyposażeniu wojsk i w związku z tym zainteresowanych odsyłamy do odpowiednich instrukcji o charakterze poufnym.

## 1. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA RADIOTECHNICZNYCH SYSTEMÓW LĄDOWANIA SAMOLOTÓW

Wykonanie zadań bojowych lotnictwa w dowolnych warunkach meteorologicznych zarówno w dzień jak i w nocy możliwe jest tylko przy zapewnieniu lądowania samolotów bez widoczności ziemi. Dla rozwiązania zagadnień lądowania przeznaczone są różnorodne radiotechniczne i radiolokacyjne systemy lądowania, w większym lub w mniejszym stopniu zautomatyzowane, zapewniające lądowanie samolotów tak w lotnictwie cywilnym jak i wojskowym.

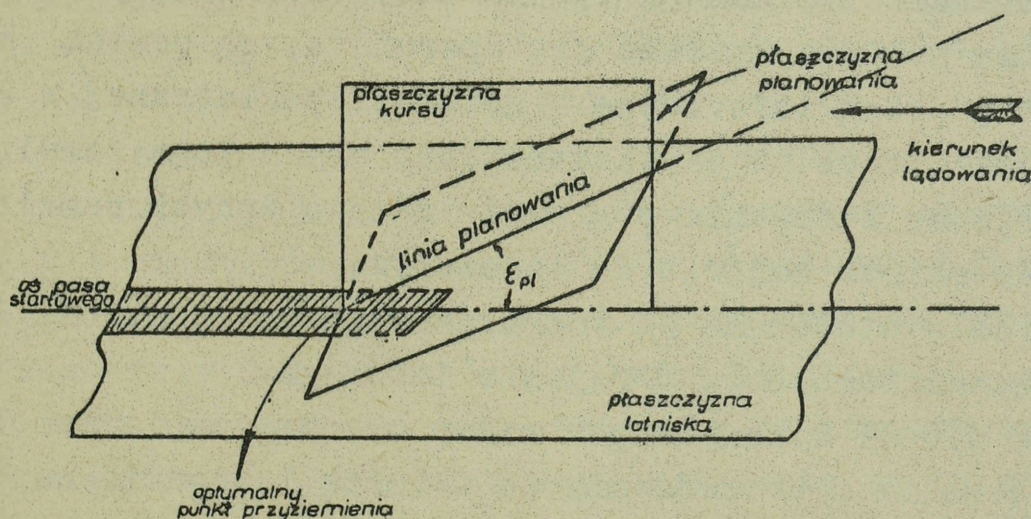
Lądowanie samolotów bez widoczności jest zagadnieniem najbardziej odpowiedzialnym i najtrudniejszym w radionawigacji lotniczej. Duże ryzyko nawigacyjne spowodowane bliskością powierzchni ziemi oraz duża prędkość współczesnych samolotów, nakłada na urządzenia i systemy lądowania szczególnie ostre wymagania dotyczące dokładności i niezawodności działania. Duże nasilenie ruchu lotniczego w obrębie lotniska powoduje konieczność stosowania systemów kontroli i dowodzenia ruchem lotniczym oraz automatyzacji systemów lądowania.

W opracowanie i udoskonalenie urządzeń i systemów lądowania bez widoczności włożono bardzo duży wysiłek naukowo konstrukcyjny, którego wynikiem są liczne systemy, z których właściwie tylko system lądowania według przyrządów pokładowych znalazł najszerze zastosowanie w lotnictwie cywilnym i umożliwia lądowanie nawet przy całkowicie ograniczonej widoczności. W lotnictwie wojskowym stosowane są wszystkie rodzaje systemów lądowania aż do uproszczonych włącznie. Mimo dużego stopnia automatyzacji współczesnych systemów lądowania i niezawodności pracy, są one jednak systemami podejścia do lądowania, przekazujące pilotowi informacje umożliwiające przedwidłowe zbliżenie się do pasa startowego aż do punktu, z którego widoczne są światła pasa startowego. Ostatni etap lotu - zetknięcie się z pasem startowym w punkcie przyziemienia i kołowanie odbywa się na podstawie bezpośredniej obserwacji światła.

Praktycznie biorąc bezpośrednia obserwacja następuje na wysokości około 50 metrów nad światłami, co umożliwia pilotowi lądowania przy silnie ograniczonej widoczności.

Zagadnienie lądowania samolotów sprowadza się w zasadzie do wyznaczenia w przestrzeni ścieżki schodzenia /trajektorii/, po której powinien poruszać się środek ciężkości samolotu, aż do punktu zetknięcia się z pasem startowym. Ścieżka schodzenia zwana również linią planowania jest wyznaczona za pomocą przecięcia się dwóch płaszczyzn: płaszczyzny kursu i płaszczyzny glisady /lądowania/ patrz. rys. 1.

Płaszczyzna kursu jest prostopadła do płaszczyzny pasa startowego i przechodzi przez oś tego pasa. Płaszczyzna glisady - ślizgu nachylona jest to płaszczyzna pasa startowego pod kątem planowania  $\epsilon = 2^\circ - 4^\circ$  i przecina płaszczyznę pasa startowego w punkcie przyziemienia. Przecięcie się płaszczyzny kursu z płaszczyzną glisady wyznacza linię zwaną ścieżką schodzenia.



Rys. 1.

Ogólnie biorąc zadanie organizacji i zapewnienia lądowania samolotów bez widoczności może być wykonane metodami radiotechnicznymi poprzez wyznaczenie ścieżki schodzenia i przekazanie jej parametrów załodze samolotu podchodzącego do lądowania.

Zadanie to może być wykonane w dwóch etapach:

Po pierwsze: system lądowania powinien zapewnić zajęcie na kierunku lądowania i zbliżenie samolotu do początkowego punktu ścieżki schodzenia. W tym celu załodze samolotu należy przekazać następujące dane:

- współrzędne pozycji samolotu w stosunku do kierunku lądowania /wyznaczenie płaszczyzny kursu/;
- współrzędne pozycji samolotu w stosunku do płaszczyzny gładkości /ślizgu/;
- dane o odległości samolotu do optymalnego punktu przyziemienia.

Po drugie: system lądowania powinien zapewnić stałą kontrolę i dowodzenie ruchem samolotów przy rozpuszczeniu grup i przebijaniu chmur w rejonie lotniska. Dla rozwiązania tego zadania w składzie naziemnego wyposażenia współczesnych systemów lądowania powinna znaleźć się aparatura, za pomocą której otrzymuje się pełną informację o sytuacji powietrznej w rejonie lotniska. Oprócz tego wskazane jest aby załoga samolotu podchodzącego do lądowania posiadała dane o innych samolotach wykonujących manewr zajęcia do lądowania.

W tym celu stosowane są techniczne środki kontroli i dowodzenia ruchem samolotów w rejonie lotniska.

Według metody wykonywanych zadań wyprowadzania samolotów na kurs lądowania i prowadzenie po ścieżce lądowania współczesne systemy lądowania można podzielić na dwie grupy.

Do pierwszej grupy należą czynne systemy lądowania, zapewniające określanie pozycji samolotu w stosunku do płaszczyzny kursu i płaszczyzny planowania na pokładzie samolotu. Są to systemy lądowania według przyrządów na samolocie.

Do drugiej grupy należą bierne systemy lądowania, określające pozycję samolotu w stosunku do płaszczyzny kursu i płaszczyzny planowania na ziemi. Są to systemy lądowania z określeniem ścieżki schodzenia według komend z ziemi.

W systemach pierwszej grupy /czynnych/ aktywną pracę wykonuje załoga samolotu podchodzącego do lądowania na podstawie danych sygnałów radiolatarni naziemnych.

W systemach drugiej grupy /biernych/ załoga samolotu biernie wykonuje komendy, przekazywane z ziemi przez radio. Kierownik lądowania określa pozycję samolotu za pomocą radiolokacyjnych stacji lądowania i na podstawie danych drogą radiową przekazuje pilotowi odpowiednie komendy, które pilot powinien wykonać aby zapewnić prawidłowe lądowanie.

Oprócz wymienionych powyżej typów systemów lądowania istnieją uproszczone systemy lądowania, dzięki którym załoga samolotu określa kurs lądowania i okresowe dane o odległości do punktu przyziemienia bez danych o linii planowania/ścieżki schodzenia/. Uproszczone systemy lądowania należą do grupy czynnych systemów, ponieważ pilot /załoga/ samodzielnie określa dane o pozycji samolotów /odległość, wysokość/, na podstawie których podejmuje odpowiednie decyzje dotyczące reżimu lotu przy lądowaniu.

Radiotechniczne systemy zarówno czynne jak i bierne posiadają swoje zalety i wady, do których należy zaliczyć między innymi następujące:

- w biernych systemach lądowania według komend z ziemi wymagane jest stosowanie bardziej rozbudowanych urządzeń naziemnych oraz specjalizacji obsługi. Przekazywanie załodze samolotu informacji drogą radiową powoduje pewne opóźnienia, które stają się niebezpieczne szczególnie w ostatniej fazie lotu. Istnieje niebezpieczeństwo popełnienia pomyłek językowych, zwłaszcza przy dużym nasileniu ruchu lotniczego. Inicjatywa pilota zostaje ograniczona, staje się on biernym wykonawcą poleceń kierownika lądowania. Duże znaczenie ma tu również czynnik zaufania załogi do obsługi naziemnych urządzeń, co ze względów psychologicznych nie jest wskazane, ograniczanie samodzielności pilota w ostatniej najtrudniejszej fazie lotu.

Do zalet biernych systemów lądowania należy zaliczyć zbędność stosowania aparatury pokładowej z wyjątkiem radiostacji korespondencyjnej.

- W czynnych systemach lądowania według przyrzędów pokładowych wymagane jest wyposażenie samolotu w urządzenia dodatkowe

o dużej precyzji działania, dzięki czemu pośrednictwo radiokomunikacji staje się zbędne. Samodzielność pilota nie jest ograniczona, posiada on stałą kontrolę nad działaniem przyrządów i sam podejmuje decyzje dotyczące sprowadzenia samolotu do lądowania po uprzednim uzyskaniu zgody punktu kontrolnego zezwalającego na lądowanie.

Do wad czynnych systemów lądowania należy zaliczyć dodatkowe wyposażenie samolotu w aparaturę, co przy ograniczonym udźwigu i miejscu na pokładzie nie zawsze jest możliwe, zwłaszcza przy spełnieniu warunku dużej precyzji i niezawodności działania aparatury pokładowej.

Poszczególne systemy lądowania mogą być wykorzystywane kompleksowo na jednym lotnisku w celu spełnienia podstawowego wymagania jakim jest niezawodność działania urządzeń. Jest to o tyle konieczne, że w wypadku uszkodzenia któregoś z urządzeń systemu pozbawia się możliwości zakończenia lądowania co może doprowadzić do tragicznych następstw. Dlatego też poszczególne systemy dublowane są innymi systemami lądowania.

Oprócz powyższego we współczesnych systemach lądowania wprowadza się pełną automatyzację lądowania, która nabiera szczególnego znaczenia dla zabezpieczenia lądowania samolotów naddźwiękowych.

Samodzielnym zagadnieniem technicznym jest problem wymagań stawianych systemom lądowania. Wymagania są bardzo ostre i ściśle określone, co jest zrozumiałe gdyż od pracy tych systemów zależy bezpieczeństwo załogi i straty kosztownego sprzętu lotniczego.

Do najważniejszych wymagań stawianych współczesnym systemom lądowania należą:

- niezawodność systemów lądowania;
- duża dokładność pomiaru danych nawigacyjnych;
- duża przepustowość i operatywność;
- możliwie proste wyposażenie aparatury pokładowej;
- duża mobilność;
- możliwie prosta obsługa systemu;
- zautomatyzowanie systemu.

Wymagania powyższe są często sprzeczne z sobą, gdyż spełnienie jednego warunku pociąga za sobą duże trudności utrzymania w granicach normy innych wymagań. Często należy iść na kompromis konstrukcyjno-techniczny wybierając warianty optymalne. Tym niemniej współczesne systemy lądowania zdolne są zapewnić potrzeby współczesnego lotnictwa.

## 2. PRZEZNACZENIE I MOŻLIWOŚCI SYSTEMÓW LĄDOWANIA

Ogólnie biorąc systemy lądowania przeznaczone są do wyprowadzenia samolotów w rejon lotniska, doprowadzenie do początkowego punktu ścieżki lądowania oraz kierowania samolotami na ścieżce lądowania aż do przyziemienia w warunkach niewidoczności ziemi.

Za pomocą radiotechnicznych systemów lądowania można wykonywać następujące zadania:

- prowadzić kontrolę ruchu lotniczego w rejonie lotniska;
- wyprowadzać samoloty w rejon lotniska lub radionamiernika;
- wyprowadzać samoloty w punkt skrętu na kurs lądowania oraz początkowy punkt ścieżki lądowania i kierować jego lotem po ścieżce lądowania;
- prowadzić kontrolę zbiórki grup samolotów nad chmurami oraz pomagać pilotom w jej wykonaniu;
- wyprowadzać grupy samolotów na trasę;
- doprowadzać grupy samolotów z trasy do punktu rozpuszczenia oraz kierować rozpuszczeniem, lotem w płaszczyźnie ślizgu i ścieżce lądowania;
- prowadzić kontrolę lotów w strefach pilotażowych;
- wprowadzać pojedyncze samoloty lub grupy w rejon celu powietrznego lub naziemnego;
- identyfikować samoloty w strefie lotniska.

Z zadaniami lądowania ściśle wiąże się problem zabezpieczenia i kontroli ruchu lotniczego w obrębie lotniska. W tym celu organizowana jest dyspozytorska służba lotnicza zabezpieczająca sprowadzenie samolotów w rejon lotniska, organizująca strefy wyczekiwania, określająca kolejność podejścia do lądowania poszczególnych samolotów, rozpuszczająca grupy samolotów do lądowania, zapewniająca bezpieczeństwo ruchu lotniczego i dowodzenie lotami w obrębie lotniska.

W związku z powyższym dla pełnego zabezpieczenia lądowania zorganizowany system lądowania powinien posiadać urządzenia lądowania, urządzenia służby dyspozytorskiej oraz wyszkolony personel obsługujący sprzęt. Według charakteru wykonywanych zadań, środki kierowania lotami w rejonie lotniska można rozpatrywać jako sprzęt określania pozycji samolotów w obrębie lotniska, środki indywidualnego rozpoznawania samolotów oraz środki łączności i dowodzenia.

Sprzęt dyspozytorskiej służby lotniczej wykorzystywany jest kompleksowo i może w swoim zestawie posiadać następujące urządzenia:

- radiolokacyjne stacje obserwacji okrężnej przeznaczone do wykrywania i określenia pozycji samolotów w dalszej strefie lotniska;
- dyspozytorskie radiolokacyjne stacje obserwacji okrężnej o zasięgu 30 + 60km, dużej dokładności przeznaczone do dowodzenia samolotami w bliższej strefie lotniska.

Stacje te wykorzystywane są do lądowania;

- radiolokacyjne stacje obserwacji płaszczyzny lotniska pasów startowych, /dużej dokładności o zasięgu kilku kilometrów/ wykorzystywane do obserwacji i dowodzenia samolotami i pojazdami poruszającymi się po pasach startowych;
- naziemne wysokościomierze radiolokacyjne;
- radiolokacyjne stacje meteorologiczne;
- radiostacje i inny sprzęt łączności;
- radiolatarnie i radionamierniki;
- środki indywidualnego rozpoznania samolotów;
- inne urządzenia uzupełniające.

Stację radiolokacyjną przeznaczoną do obserwacji okrężnej w dalszej strefie lotniska nazywamy stacją obserwacji okrężnej, natomiast stację radiolokacyjną przeznaczoną do prowadzenia samolotów w bliższej strefie lotniska nazywamy dyspozytorską stacją radiolokacyjną. Przy czym dyspozytorska stacja radiolokacyjnego systemu lądowania jest stacją zasadniczą. Zasięg jej wynosi średnio 30 + 60 km. Dokładność określania danych powinna być stosunkowo duża i w związku z tym powinna pracować w centymetrowym zakresie fal radiowych.

W stosunku do RLS obserwacji okrężnej wymagania są mniejsze z tym, że powinny one zapewnić niezawodną pracę i wykrywa-

nie samolotów z określeniem pozycji w zasięgu 80 + 200 km. Stacje te mają pracować w zakresie fal decymetrowych a nawet metrowych.

Dla indywidualnego rozpoznawania samolotów stosuje się naziemne automatyczne radionamierniki współpracujące z RLS służby dyspozytorskiej oraz aparatura systemu czynnej odpowiedzi.

Na uwagę zasługuje rozwinięty system łączności radio -wej i przewodowej, pozwalający w sposób operacyjny dowodzić samolotami w obrębie lotniska. Dla łączności z samolotami w zestawie systemu lądowania znajduje się kilka radiostacji UKF. Mogą być również stosowane radiostacje krótkofalowe. Celem, zapewnienia niezawodności działania środków łączności w każdym zakresie częstotliwości radiowej wydziela się po dwa kanały łączności, a w każdym kanale po dwie radiostacje. Oprócz tego środki łączności z samolotami posiadają urządzenia wyośne rozwijane na startowym stanowisku dowodzenia. Reasumując można stwierdzić, że we współczesnych systemach lądowania samolotów wykorzystuje się łączność przewodową, radiową i telemetryczną. Ta ostatnia wykorzystywana jest w systemach lądowania w pełni zautomatyzowanych stosowanych w lotnictwie cywilnym.

### 3. RODZAJE RADIOTECHNICZNYCH SYSTEMÓW LĄDOWANIA STOSOWANYCH W LOTNICTWIE

W obecnej chwili w uzbrojeniu znajduje się kilka zasadniczych systemów lądowania, do których należą:

- uproszczone systemy lądowania;
- systemy lądowania z przekazywaniem linii planowania według przyrządów;
- systemy lądowania z zadaniem linii planowania według kolumn z ziemi;
- półautomatyczne i automatyczne systemy lądowania.

Poszczególne systemy lądowania mogą być wykorzystywane oddzielnie na lotniskach lub też w kompleksie celem zabezpieczenia większego bezpieczeństwa i niezawodności.

Niżej podamy krótką charakterystykę poszczególnych rodzajów systemów lądowania, ich skład i wykorzystanie.

#### 4. UPROSZCZONE SYSTEMY LĄDOWANIA

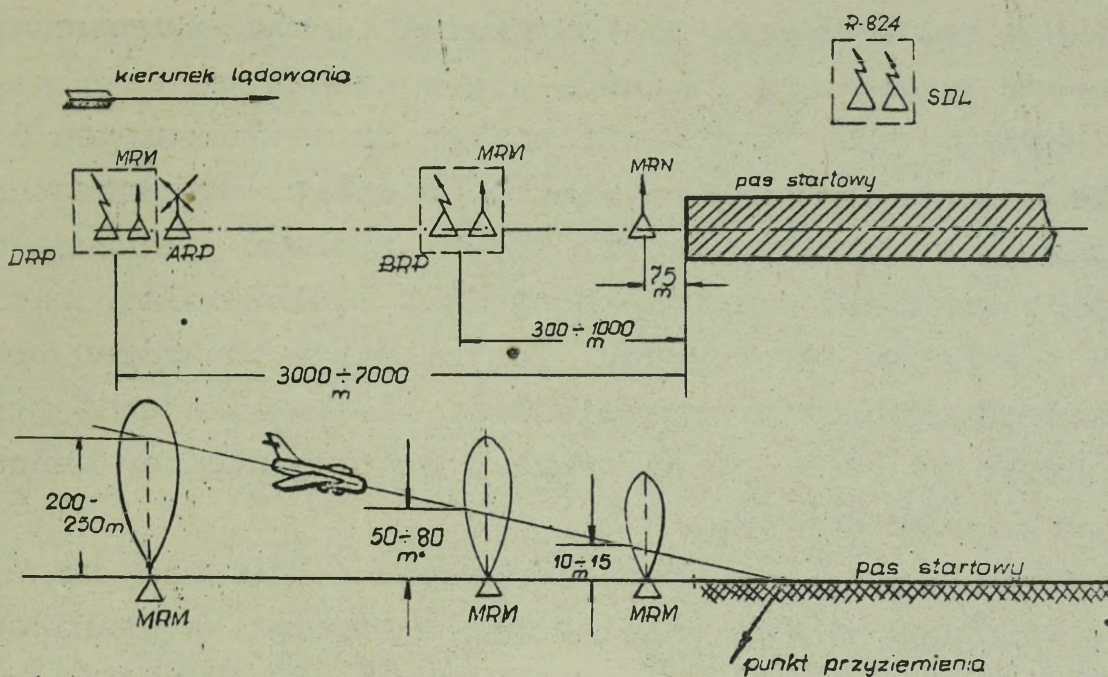
W uproszczonych systemach lądowania załoga samolotu otrzymuje dane o kursie lądowania oraz odległość do początku pasa startowego w kilku punktach bez danych o płaszczyźnie planowania.

Najszersze zastosowanie znalazły systemy lądowania, w których kurs lądowania wyznacza się za pomocą dwóch radiostacji prowadzących typu PAR oraz dwóch radiolatarni znacznikowych zwanych radiomarkierami.

Metodyka określania kierunku zajścia do lądowania w systemie dwóch radiostacji prowadzących i pokładowego radiomierznika zwanego radiokomпасem jest następująca. Jedna radiostacja prowadząca rozwijana jest w odległości do 1 km od początku pasa startowego na kursie lądowania nosi nazwę bliższej radiostacji prowadzącej. Druga radiostacja rozwija się w odległości 3 + 7 km od początku pasa startowego, dokładnie na kierunku zajścia do lądowania, nosi nazwę dalszej radiostacji prowadzącej. Przy każdej z radiostacji pracują radiolatarnie znacznikowe tzw. markiery, które mają zadanie umożliwienia pilotowi odczytania wysokości na zadanych odległościach do punktu przyziemienia /patrz rys. 2/.

Radiostacje prowadzące-bliższa i dalsza pracują na różnych częstotliwościach i posiadają dookólne charakterystyki promieniowania w płaszczyźnie poziomej. Oba radiomarkiery, bliższego i dalszego punktu radiosygnalowego pracują na tej samej częstotliwości zakrętu UKF /metrowego/, a ich charakterystyki promieniowania skierowane są pionowo do góry i posiadają kształt pochodni. W celu odznaczenia jednego radiomarkiera od drugiego sygnały ich manipulowane są w różny sposób.

Przy tym akustyczna sygnalizacja przelotów nad radiomarkierem odbywa się według zasady wzrastania toru /podwyższenia częstotliwości akustycznej/ w miarę zbliżania się do pasa startowego. Na przykład: radiomarkier dalszego punktu radiosygnalowego wypromieniowuje jedną, do trzech "kresek" w sekundę przy modulacji 400 H<sub>z</sub>, a bliższy radiomarkier wypromieniowuje 6 "kresek" na sekundę przy modulacji 1300 H<sub>z</sub>.



Rys. 2.

Celem wykonania lądowania za pomocą omawianego systemu na samolocie powinien znajdować się automatyczny radionamiernik zwany radiokomпасem, odbiornik sygnałów radiomarkierów i wysokościomierz.

Oprócz tego wykorzystywane są istniejące przyrządy nawigacyjno-pilotażowe samolotu.

Lądowanie samolotów odbywa się w dwóch etapach. Pierwszym etapem jest lot kontrolno przygotowawczy, w którym pilot powinien upewnić się, że wyjście na kurs lądowania zostało wykonane prawidłowo, aparatura pomiarowa pracuje sprawnie i strzałka przyrządu radiokomпасu wskazuje "zero". W etapie tym pilot udokładnia i koryguje kurs, przygotowując się do końcowego właściwego lądowania. Drugi etap lądowania obejmuje planowanie-ślizg na kursie lądowania, wyrównywanie i przyziemienie. Prawidłowe utrzymanie kursu lądowania kontrolowane jest za pomocą radiokomпасu i żyrokomпасu. Przy tym radiokomпас w pierwszym etapie lądowania nastrojony

jest na częstotliwość dalszej radiostacji prowadzącej, a po przelocie jej przestrajają się na bliższy punkt radiosygnalowy, przy czym udokładniają się kurs lądowania.

Dokładność wyjścia samolotu na oś pasa startowego określa się dokładnością radionamierzenia radiokompasu na radiostację prowadzącą i mieści się w granicach  $2^{\circ}$ - $3^{\circ}$ . W celu usprawnienia obserwacji wskaźnika radiokompasu i żyrokompasu, z uwzględnieniem wiatru bocznego, wykorzystuje się urządzenie przelicznikowe, dzięki któremu jednoczy się na wspólny wskaźnik dwustrzałkowy dane radionamiaru radiokompasu i wskazań żyrokompasu. Zastosowanie urządzeń przelicznikowych umożliwia sprawniejsze pilotowanie oraz pozwala wykonywać zejścia do lądowania z wykorzystaniem jednej radiostacji prowadzącej.

Wyjście samolotu na kurs lądowania i pierwszy etap lądowania wykonuje się na bezpiecznej wysokości w granicach  $300 \pm 250$  m. Przy locie kursem lądowania pilot obniża samolot z takim wyliczeniem, aby nad dalszym radiomarkierem osiągnąć wysokość  $200 \pm 250$  m.

Dalsze planowanie /ślizg/ wykonywane jest z taką prędkością zniżania, aby nad bliższym radiomarkierem wysokość samolotu nie przekraczała  $50 \pm 80$  m.

Po przelocie bliższego punktu radiosygnalowego pilot powinien wyraźnie widzieć pas startowy, a lądowanie wykonać na podstawie obserwacji świateł pasa startowego.

W niektórych wypadkach system radiostacji prowadzących uzupełnia się trzecim radiomarkierem-granicznym, ustawionym na odległości  $75 \pm 100$  m od początku pasa startowego, przelot samolotu nad nim należy wykonać na wysokości 10-15 m.

Dla łączności z samolotami system posiada także odbiorczo-nadawczy węzeł łączności wyposażony w odpowiednie środki łączności.

Uproszczone systemy lądowania mogą być wykorzystywane do następujących zadań:

- sprowadzanie samolotów w rejon punktu radiosygnalowego lub na lotnisko lądowania;
- wyprowadzanie samolotów na linię nakazanej drogi;
- wyprowadzanie samolotów w rejon celu;
- kontroli drogi poprzez określenie pozycji samolotu <sup>lub</sup> linii położenia;

- zabezpieczenie wykonania zbiórek i formowania ugrupowań bojowych lotnictwa;
- zabezpieczenie wykonania manewru do lądowania.

#### 5. SYSTEM ŁADOWANIA SAMOLOTÓW Z PRZEKAZANIEM LINII PLANOWANIA WEDŁUG PRZYRZĄDÓW

System lądowania samolotów z przekazaniem linii planowania załodze samolotu według przyrządów realizowany jest za pomocą naziemnych radiolatarni kursu i ślizgu oraz pokładowego wyposażenia samolotów. Urządzenia tego typu należą do czynnych systemów lądowania.

Załoga samolotu otrzymuje niezbędne dane o płaszczyźnie kursu i płaszczyźnie planowania, przecięcie się których w przestrzeni wyznacza linię planowania zwaną też ścieżką lądowania. Całą aktywną pracę wykonuje pilot, a funkcje personelu naziemnego sprowadza się do zapewnienia sprawnej pracy technicznej urządzeń naziemnych.

Początkowy punkt ścieżki lądowania, jak również inne punkty charakterystyczne linii planowania są przedłużeniem osi pasa startowego i oznaczone są za pomocą naziemnych radiomarkierów.

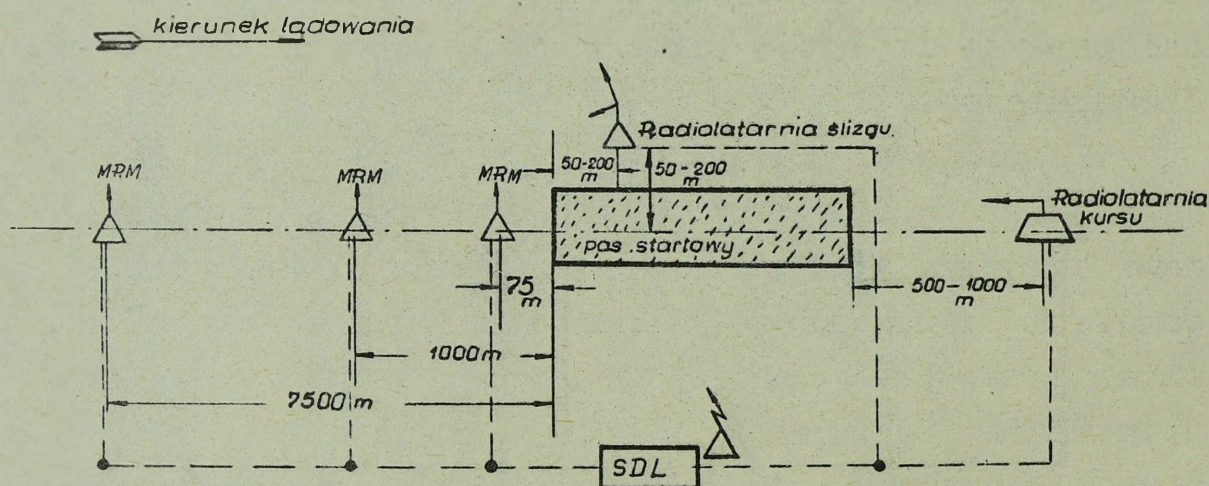
Zobrazowanie na samolocie danych linii planowania dokonuje się za pomocą dwustrzałkowego przyrządu wychyłowego, pionowa strzałka którego wskazuje stopień i kierunek odchylenia samolotu od nakazanego kierunku lądowania, a pozioma strzałka wskazuje stopień odchylenia samolotu od zadanej płaszczyzny planowania. Celem usprawnienia określania stopnia odchylenia strzałek przyrządu w środku skali naniesione jest kółko, a w górę i w dół od tego kółka odpowiednie punkty. Skrzyżowanie obu strzałek w granicach kółka w środku skali świadczy o tym, że samolot znajduje się dokładnie u przedłużenia osi pasa startowego w zadanej płaszczyźnie planowania.

W niektórych systemach omawianego typu strzałki zamienia się dźwigienkami, jedna z których przemieszcza się równoległe do horyzontu a druga równoległe do pionu. Takie zobrazowanie lekko zgrywa się z przyrządami sztucznego horyzontu dzięki czemu usprawnia się obserwację.

Systemy lądowania według przyrządów na samolocie mogą pracować w metrowym, decymetrowym i centymetrowym zakresie fal radiowych. Szerokie zastosowanie znalazły systemy w metrowym zakresie fal, jednak zasadniczą wadą tego zakresu fal jest stosunkowo mała kierunkowość charakterystyki promieniowania anten i wpływ ziemi na formowanie się strefy równosygnałowej radiolatarni naziemnych.

Przejście do systemów lądowania według przyrządów w zakresie fal decymetrowych i centymetrowych pozwoliło w znacznym stopniu zwiększyć kierunkowość promieniowania radiolatarni kursu i ślizgu oraz usunąć wpływ ziemi, a tym samym pozwoliło usunąć zniekształcenia i błędy pomiaru danych.

W typowym systemie lądowania według przyrządów naziemną aparaturę systemu rozmieszcza się jak pokazano na rys. 3. W tym wypadku zabezpiecza się jeden kierunek lądowania.



Rys. 3.

Radiotechniczny system lądowania samolotów według przyrządów w składzie swoim posiada następujące urządzenia:

- radiolatarnia kursu typu KRM;
- radiolatarnia ślizgu-glisady GRM;
- radiolatarnia znacznikowa typu MRM;
- urządzenie odbiorcze sygnałów radiolatarni kursu KRP;
- Urządzenie odbiorcze sygnałów radiolatarni ślizgu - GRP;

- przyrządy ślepego lądowania PSP-48;
- kombinowany przyrząd pilotażowy.

Pierwsze trzy urządzenia wyszczególnione powyżej odnoszą się do urządzeń naziemnych rozwijanych na lotnisku, pozostałe tworzą zestaw urządzeń pokładowych montowanych na samolocie.

Zasady pracy wyszczególnionych urządzeń nie omawiamy, zainteresowanych odsyłamy do skryptu ASG „Radiotechniczne środki nawigacji lotnictwa”.

Za pomocą systemu lądowania według przyrządów pilotowi przekazywane są dane o płaszczyźnie kursu i płaszczyźnie glisady /ślizgu/. Przecięcie się obu płaszczyzn w przestrzeni wyznacza ścieżkę lądowania umożliwiającą lądowanie samolotów w skomplikowanych warunkach meteorologicznych przy podstawie chmur 50 m i widzialności poziomej 500 m.

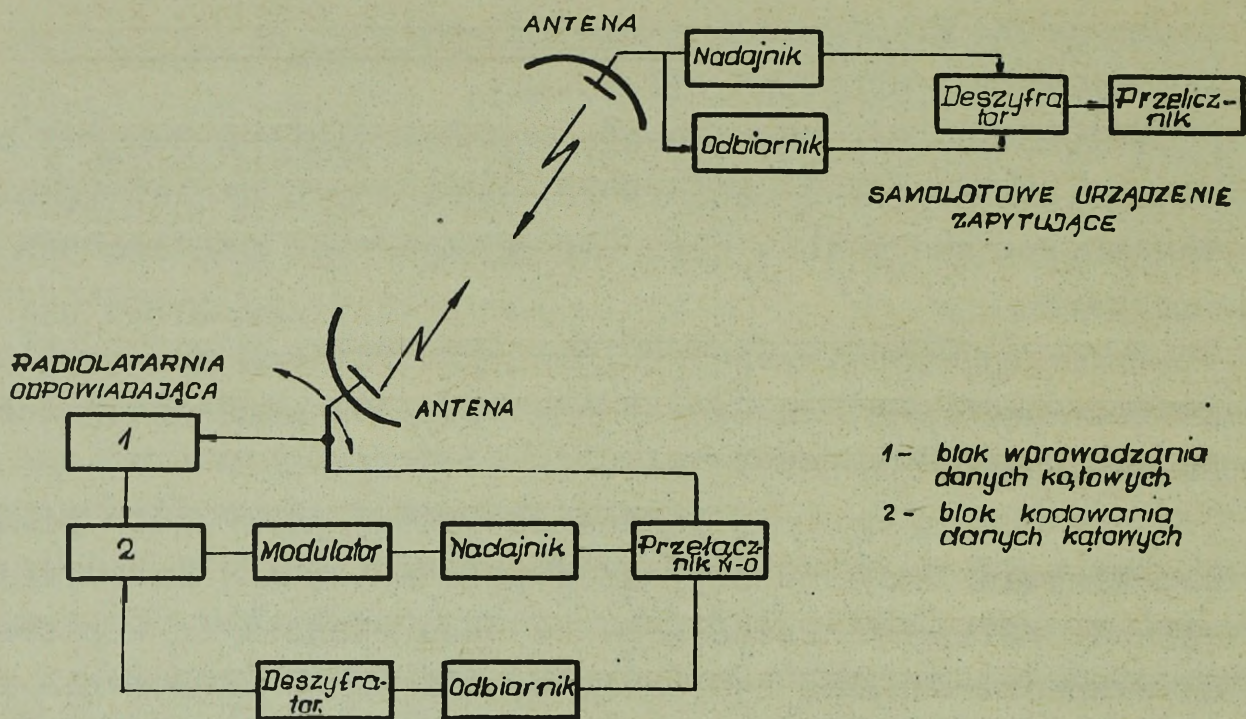
#### 6. SYSTEM LĄDOWANIA SAMOLOTÓW Z WAHAJĄCĄ SIĘ WIĄZKĄ RADIO-LATARNI GLISADY

Przy wykorzystaniu systemu lądowania według przyrządów występują specyficzne trudności, dotyczące lądowania różnych typów samolotów. Dotyczy to przekazywania płaszczyzny planowania, dla różnych samolotów, pod różnymi kątami w granicach od  $0,5^{\circ}$  do  $20^{\circ}$ . Dla radiolatarni kursu trudność ta nie występuje gdyż kierunek lądowania dla dowolnego samolotu jest jednakowy.

Drugim ważnym wymaganiem dotyczącym radiolatarni ślizgu jest duża dokładność przekazywania kąta planowania wynosząca  $0,05^{\circ}$ . Oprócz tego konieczność automatyzacji procesu lądowania stwarza potrzeby ciągłego otrzymywania danych o kącie planowania, które przekazywane są do urządzeń przelicznikowych autopilota.

W związku z powyższym zadania te mogą być zrealizowane za pomocą radiolatarni ślizgu, posiadającej wahającą się charakterystykę kierunkowego promieniowania anteny przy kodowanym promieniowaniu sygnałów radiowych.

Schemat blokowy tego typu radiolatarni przedstawiony jest na rys. 4. System składa się z samolotowego urządzenia zapytującego i naziemnej radiolatarni odpowiadającej.



Rys. 4.

Nadajnik pokładowego urządzenia zapytującego wysyła kodowane sygnały zapytujące, które odbierane są przez antenę naziemnej radiolatowni odpowiadającej. Po wzmocnieniu odebranych sygnałów zapytujących w urządzeniu odbiorczym radiolatowni i rozkodowaniu w deszyfratorze sygnały te poprzez modulator wysterowują nadajnik.

Sygnały nadajnika poprzez przełącznik antenowy przesyłane są do anteny, która wypromieniowuje sygnał odpowiedzi. Charakterystyką anteny radiolatowni waha się z częstotliwością  $5 + 8 H_z$  i pokrywa przestrzeń w kącie wzniesienia od  $0,5^\circ$  do  $20^\circ$ . Z napędem anteny związany jest blok wypracowania danych kątowych, który przekazuje informację o kącie nachylenia osi równych sygnałów do bloku kodowania danych kątowych.

Sygnał odpowiedzi radiolatowni posiada informację o odległości do samolotu i dane o kącie nachylenia wiązki strefy równych sygnałów w płaszczyźnie pionowej.

Sygnały odpowiedzi odbierane są przez anteny urządzenia pokładowego i przekazywane do odbiornika i deszyfratora. W deszyfratorze łącznie z sygnałem wzorcowym z nadajnika następuje rozkodowanie, określenie odległości do radiolatowni oraz określenie kodowej serii impulsów, odpowiadających momentowi przejścia

strefy równosygnałowej anteny radiolatarni przez samolot. Rozkodowanie to określa płaszczyznę planowania samolotu podchodzącego do lądowania.

Możliwe jest wykorzystanie dwóch radiolatarni naziemnych z wahającą się wiązką, za pomocą której określa się kąt planowania i odległość od samolotu do radiolatarni.

Jedna z radiolatarni spełnia rolę radiolatarni ślizgu, druga natomiast radiolatarni lądowania. Dzięki takiej kombinacji - patrz rys. 5 - określenie odległości do punktu przyziemienia określone jest na podstawie zależności funkcyjnej:

$$D = d \cdot \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \varphi - \operatorname{tg} \psi}$$

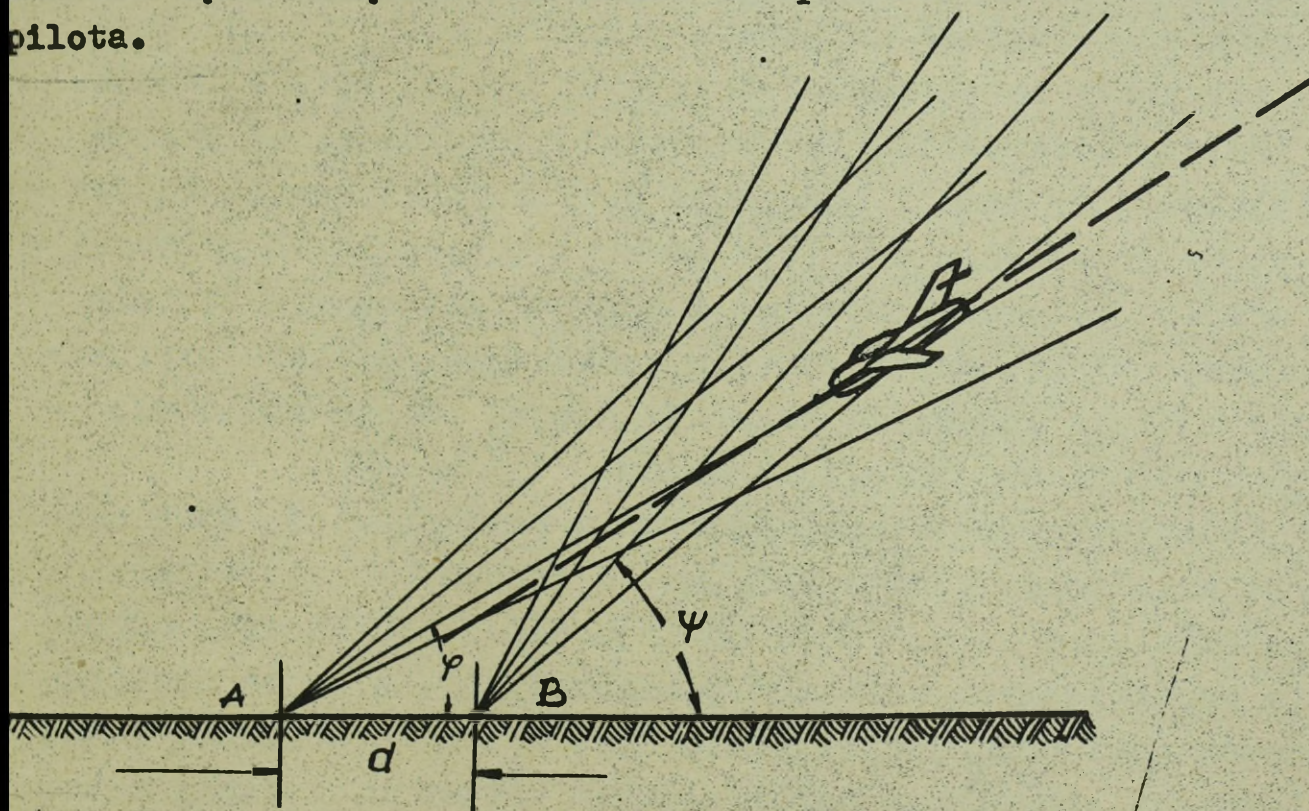
gdzie:  $D$  - odległość do punktu przyziemienia;

$d$  - odległość między radiolaternami;

$\varphi$  - kąt nachylenia osi równosygnałowej radiolatarni A;

$\psi$  - kąt nachylenia osi równosygnałowej radiolatarni B.

Zależność powyższa rozwiązywana jest automatycznie za pomocą urządzenia przeliczającego aparatury pokładowej, a dane wprowadzone są do urządzeń sterowania autopilotem lub na wskaźnik pilota.



Rys. 5.

## 7. SYSTEMY ŁADOWANIA SAMOLOTÓW Z PRZEKAZANIEM LINII PLANOWANIA WEDŁUG KOMEND Z ZIEMI

Ładowanie samolotów według komend z ziemi uwarunkowane jest ciągłym i dokładnym określaniem na ziemi pozycji samolotu podchodzącego do lądowania, w stosunku do osi pasa startowego oraz korygowania odchylenia samolotu od zadanej mu linii planowania. W kanale łączności radiowej pilotowi przekazywane są słowne komendy dotyczące pilotowania samolotu względem kursu i glisady oraz odległości do punktu przyziemienia, a także dane dotyczące reżimu lotu.

Na podstawie danych informacyjnych i komend z ziemi pilot wyprowadza samolot na oś pasa startowego za pomocą nawigacyjno-pilotażowych przyrządów pokładowych.

Określanie współrzędnych samolotu idącego do lądowania odbywa się na podstawie metod radiolokacyjnych. Stosowane są dokładne naziemne stacje radiolokacyjne, pozwalające określić pozycję samolotu, z zadaną dokładnością, w stosunku do płaszczyzny kursu lądowania i płaszczyzny planowania, określa się również odległość do punktu przyziemienia. Stacje tego typu otrzymały nazwę radiolokacyjnych stacji lądowania-RSL.

Należy podkreślić, że dowodzenie samolotami za pomocą radiolokacyjnej stacji lądowania przyjmuje kierownik lądowania po wyprowadzeniu samolotu na kurs lądowania. Doprowadzenie samolotów, oraz kontrolę ruchu powietrznego w rejonie lotniska, organizowanie stref wyczekiwania, a także wyprowadzenie na kurs lądowania dokonuje się za pomocą radiolokacyjnych stacji obserwacji okrężnej.

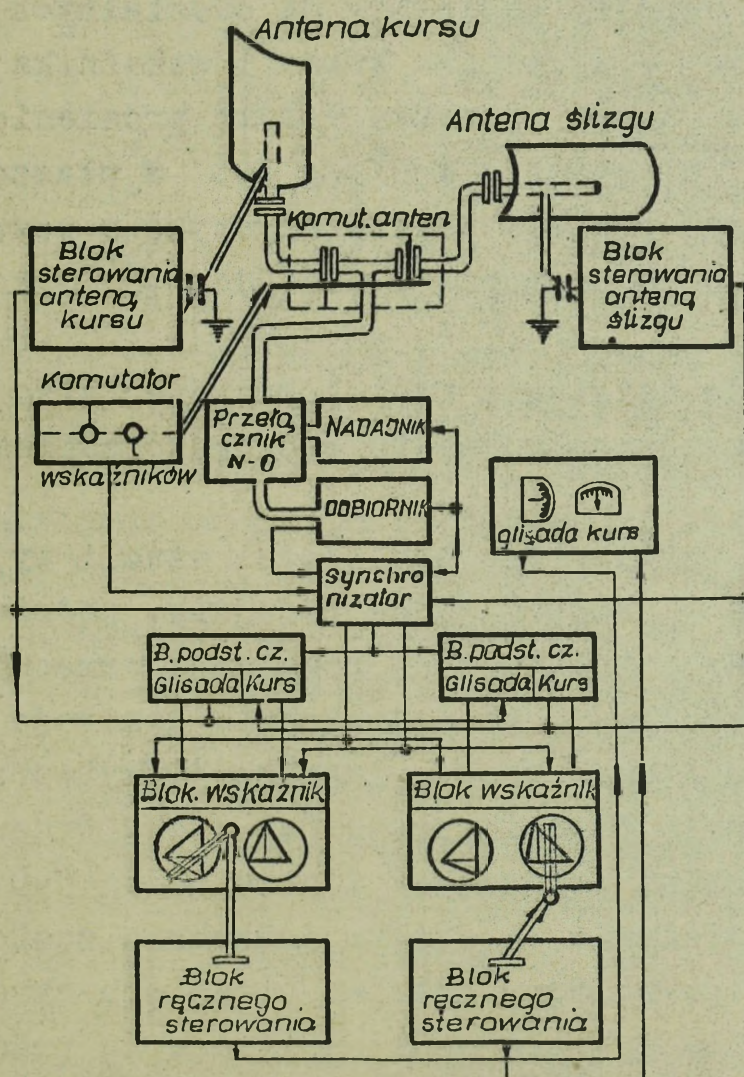
Radiolokacyjne stacje lądowania przedstawiają sobą naziemne urządzenia radiolokacyjne, o stosunkowo niedużym zasięgu działania rzędu 20 do 60 km o dużej dokładności określania współrzędnych obiektów powietrznych, z dwoma systemami antenowymi pracującymi sektorowo. Celem zapewnienia dużej dokładności określenia współrzędnych katowych, systemy antenowe powinny posiadać ostrokierunkowe charakterystyki promieniowania. Zapewnia się to, przy ograniczonych rozmiarach anten,<sup>2</sup> zastosowaniem urządzeń antenowych pracujących w centymetrowym zakresie fal.

Zobrazowanie sygnałów écha od samolotów w RSL powinno być przejrzyste i ciągłe z możliwie prostym odczytem. Celem zapewnienia tego wymagania stosowane są sektorowe wskaźniki radiolokacyjne kursu i ślizgu z jasnościowym zobrazowaniem, przy namiarze metodą maksymalnego sygnału.

Dla obserwacji echa odbitego od samolotu w obu płaszczyznach /kursu i ślizgu/ stosuje się dwie oddzielne anteny zasilane ze wspólnego urządzenia nadawczego.

Za pomocą anteny kursu określa się pozycję samolotu w płaszczyźnie poziomej w stosunku do płaszczyzny kursu, a za pomocą anteny ślizgu położenie samolotu w stosunku do płaszczyzny ślizgu.

Jak widzimy z powyższego RSL składa się jak gdyby z dwóch stacji radiolokacyjnych obserwacji sektorowej. Schemat blokowy typowej stacji lądowania przedstawiony jest na rys. 6.



Rys. 6.

Kursowa część stacji lądowania zapewnia ciągłą obserwację samolotu w płaszczyźnie poziomej w sektorze rzędu  $20^{\circ}+60^{\circ}$ , natomiast ślizgowa część RSL zapewnia obserwację w płaszczyźnie pionowej w sektorze  $7^{\circ} + 9^{\circ}$ . Prędkość wahanía /anten 30 do 120 razy na minutę/.

Kursowa i ślizgowa część RSL pracuje na tej samej częstotliwości, dzięki czemu wykorzystuje się wspólne bloki układów technicznych, jak na przykład: nadajnik, odbiornik, synchronizator.

Ponieważ wykorzystywany jest wspólny nadajnik i wspólny odbiornik dlatego też antena kursu i antena ślizgu pracują na przemian. Sygnały echa odbitego od samolotu z obu anten kierowane są poprzez wspólny odbiornik do oddzielnych wskaźników oscylograficznych - wskaźnika kursu i wskaźnika ślizgu. Każda z anten posiada wąską charakterystykę promieniowania. Antena kursu  $0,7 + 1^{\circ}$  w azymucie i  $2^{\circ}$  do  $3,5^{\circ}$  w płaszczyźnie pionowej. Antena ślizgu posiada charakterystykę o rozwarości wiązki  $3,5^{\circ}$  do  $4,5^{\circ}$  w azymucie i  $0,5^{\circ}$  do  $0,6^{\circ}$  w kącie wzniesienia.

Rozpatrzmy zasadę działania radiolokacyjnej stacji lądowania według uproszczonego schematu blokowego zamieszczonego na rys. 6.

Synchronizator, wspólny dla obu części stacji wypracowuje impulsy spustowe - uruchamiające nadajnik, podstawy czasu wskaźników i układy automatycznej regulacji wzmocnienia odbiornika. Generator zbudowany na magnetronie generuje drgania u.w.cz. na fali rzędu 3 cm, pracuje impulsowo, wytwarzając impulsy sondujące o czasie trwania rzędu  $0,5 \mu\text{sek}$ . Drgania te przesyłane są przez układ falowodowy i przełącznik N-O do systemu antenowego. W systemie antenowym dodatkowo zastosowano komutator antenowy zapewniający kolejną pracę obu anten.

Odbite od samolotu sygnały echa odbierane są przez obie anteny i poprzez komutator antenowy i przełącznik N-O przekazywane są do odbiornika. W odbiorniku następuje wzmocnienie, detekcja oraz wzmocnienie impulsów wizyjnych, które przesyłane są kolejno do aparatury wskaźnikowej. Stacja posiada dwa wskaźniki kursu i dwa wskaźniki ślizgu. Na ekranach wskaźników kursu zobrazowany jest widok z góry na lotnisko i podej-

ścia do pasa startowego, oraz echa radiolokacyjne od samolotów podchodzących do lądowania. Na ekranach wskaźników ślizgu zobrazowany jest widok z boku na płaszczyznę pionową, pokrywającą się z płaszczyzną kursu lądowania.

Wskaźniki umieszczone są na dwóch konsolach parami, dokładny wskaźnik kursu i zgrubny wskaźnik ślizgu; na drugiej konsoli: dokładny wskaźnik ślizgu i zgrubny wskaźnik kursu.

Ponieważ antena kursu i antena ślizgu pracują na przemian, dlatego też i wskaźniki powinny włączać się odpowiednio kolejno. W tym celu zastosowano specjalny przełącznik wskaźników, który pracuje synchronicznie z komutatorem antenowym i zapewnia zobrazowanie na ekranach wskaźników bez migotania.

Układ podstawy czasu, uruchamiany impulsami spustowymi z synchronizatora, wytwarza na ekranach wskaźników sektorowe podstawy czasu. Wahanie linii podstawy czasu w zakresie sektora obserwacji dokładnie zsynchronizowane jest z elektrycznym wahaniami wiązek antenowych kursu i ślizgu.

Oprócz wspomnianych powyżej dwóch par wskaźników radiolokacyjnych stacja lądowania posiada często dwa wskaźniki wychyłowe, przeznaczone do dokładnego wizualnego odczytu stopnia odchylenia samolotu od zadanej płaszczyzny kursu i zadanej płaszczyzny ślizgu. Przyrządy te posiadają skale z zerem pośrodku, wyskalowane w stopniach. Zero skali odpowiada położeniu samolotu dokładnie w płaszczyźnie kursu i płaszczyźnie planowania. Przy odchyleniu samolotu od zadanych płaszczyzn kursu i planowania w dowolną stronę powoduje odchylenie strzałek przyrządów w odpowiednią stronę od zera. Przy prawidłowym prowadzeniu samolotu po ścieżce lądowania strzałki przyrządów wychyłowych utrzymują się w granicach zerowego położenia.

Kierownik lądowania, opierając się na wskazaniach aparatury wskaźnikowej, przekazuje pilotowi drogą radiową odpowiednie komendy o koniecznych zmianach kursu, wysokości i reżimu lotu celem wykonania prawidłowego lądowania.

Opisana powyżej RSL starszego typu zapewnia wyprowadzenie samolotów na kurs lądowania i doprowadzenie go dokładnie na kurs osi pasa startowego aż do punktu, z którego dokładnie

jest widoczny pas startowy. Praktycznie stacja zapewnia lądowanie w trudnych warunkach meteorologicznych przy podstawie chmur 50 m i widzialności poziomej 500 m.

#### 8. RADIOLOKACYJNA STACJA ŁADOWANIA Z WYKREŚLENIEM LINII KURSU I PLANOWANIA

Rozpatrywana powyżej RSL pierwszych typów posiadała kilka różnych wskaźników o różnych skalach, co utrudniało eksploatację i wykorzystanie sprzętu. Dalsze udoskonalenia stacji lądowania poszły w kierunku ulepszenia parametrów taktyczno-technicznych, zwiększenia manewrowości, niezawodności i przepustowości.

W obecnej chwili w lotnictwie cywilnym zastosowano pełną automatyzację systemów lądowania, aż do kołowania na pasach startowych włącznie. Zamiast kilku wskaźników zastosowano jeden wspólny wskaźnik radiolokacyjny z jednoczesnym zobrazowaniem danych o wysokości, azymucie i odległości ze skalą logarytmiczną, pozwalającą rozciągnąć podstawę czasu w pobliżu punktu przyziemienia. Na wskaźnikach tego typu w jego górnej części wytworzona jest podstawa czasu we współrzędnych odległość-wysokość, a w dolnej części ekranu podstawa czasu azymut-odległość.

Linie planowania i kursu wykreślone są na ekranie strumieniem elektronów. Odczyt odległości dokonywany jest za pomocą elektrycznych znaczników odległości w postaci pionowych linii.

Dane linii planowania i kursu wypracowane są w specjalnym układzie przeliczającym, do którego wprowadza się informacje o wymaganym kącie planowania i współrzędnych punktu przyziemienia w stosunku do punktu stania systemu antenowego RSL.

Zastosowanie urządzeń przeliczających pozwala na rozwinięcie stacji lądowania w dowolnie wybranym miejscu w pobliżu osi pasa startowego, zarówno z lewej, jak i z prawej strony, w szerokim zakresie odległości od osi pasa startowego.

Tego typu stacje lądowania pozwalają również na sprawozdanie do lądowania różnych typów samolotów tj. mogą wybierać dowolny kąt planowania. Zalety te pozwalają na wykorzystanie tych stacji na różnych lotniskach łącznie z lotniskami polowymi.

Rozpatrzmy zasadę działania RSL z wykreśleniem linii kursu i planowania. Stacja posiada również dwie antenty: antenę kursu i antenę glisady. Pierwsza antena dokonuje obserwacji w płaszczyźnie poziomej w sektorze o szerokości  $30^\circ$ . Druga w płaszczyźnie pionowej wybiera sektor w granicach od  $-1^\circ$  do  $+9^\circ$  w stosunku do horyzontu. Szerokość charakterystyki promieniowania anten w płaszczyznach obserwacji wynosi  $0,8^\circ$ , a w płaszczyznach prostopadłych do nich  $30^\circ$ . Tego typu charakterystyki promieniowania zapewniają z jednej strony dobrą rozdzielność we współrzędnych kątowych, a z drugiej wygodę śledzenia samolotów w wypadku odchylenia samolotu od zadanej linii planowania.

Za pomocą przełącznika antenowego obie anteny kolejno podłączane są do układu antenowo-przesyłowego połączanego odpowiednio z wyjściem nadajnika i wejściem odbiornika. Praca przełącznika antenowego skoordynowana jest z mechanizmem wahania wiązek antenowych co zapewnia odpowiednie strefy wybierania przestrzeni w obu płaszczyznach. Wahania anteny kursu i anteny ślizgu odbywa się z przesunięciem fazowym o  $90^\circ$ . Przy pracy anteny kursu rozjaśnia się strefa kursu wskaźnika, a przy pracy anteny ślizgu strefa glisady wskaźnika. Zastosowanie ekranu z długą poświatą zapewnia stałe zobrazowanie bez migotania obrazu.

Podstawy czasu kursu i ślizgu zsynchronizowane z częstotliwością powtarzania  $f_p = 200 \text{ Hz}$  posiadają długość około 20 km. Logarytmiczna skala odległości wyskalowana jest elektrycznymi znacznikami odległości co 1 kilometr i zapewnia odczyt odległości samolotu do punktu przyziemienia. Pionowa podstawa czasu zsynchronizowana jest z wahaniami anteny za pomocą dajników azymutu i kąta wzniesienia, mechanicznie związanymi z napędem anteny. Jako dajniki wykorzystuje się selsyny zasilane z synchronizatora napięciem sinusoidalnym o częstotliwości  $2000 \text{ Hz}$ .

Napięcia te modulowane są amplitudowo w dajnikach z częstotliwością wahaniami anten. Otrzymane w rezultacie modulacji wolno zmieniające się napięcie kątowe wykorzystuje się we wskaźnikach do przemieszczania wiązki elektronów w płaszczyźnie pionowej /odpowiednio w azymucie i kącie wzniesienia/.

Celem wyselekcjonowania napięcia proporcjonalnego kątowemu odchyleniu wykorzystuje się wspólny kanał, na wyjściu którego za pomocą komutatora podaje się amplitudowo modyfikowane napięcie z dajnika azymutu, a przy pracy anteny ślizgu z dajnika kąta wzniesienia. Z wyjścia kanału, napięcie proporcjonalne kątowemu odchyleniu przekazywane jest do urządzenia przeliczającego, zadaniem którego jest wypracowanie danych do wykreślenia linii kursu i linii planowania.

Wykreślone na ekranach wskaźników linie kursu i planowania, obliczonych dla danego typu samolotu w stosunku do osi pasa startowego i punktu przyziemienia, pozwalają na bardziej dokładne śledzenie za położeniem samolotu podchodzącego do lądowania. Odchylenia samolotu w wysokości i kącie wzniesienia określa się w pobliżu pasa startowego z dokładnością  $\pm 6$  m.

Dużą dokładność określania danych koniecznych dla zabezpieczenia lądowania różnych typów samolotów uzyskano dzięki zastosowaniu urządzeń przeliczających oraz pracy RSL w zakresie fal radiowych  $\lambda = 3$  cm. Przy tych częstotliwościach duży wpływ na sprawną pracę RSL wywierają opady atmosferyczne, które zakłócają zobrazowanie na ekranie wskaźników.

W celu wyeliminowania niekorzystnych zjawisk zastosowano w antenach siatki polaryzacyjne o kołowej polaryzacji fali.

## 9. AUTOMATYCZNE ŁADOWANIE Z WYKORZYSTANIEM RADIOLOKACYJNEJ STACJI ŁADOWANIA

W typowych warunkach rozpatrywanych radiolokacyjnych stacji lądowania kierownik lądowania kieruje działalnością pilota przekazując z ziemi słowne komendy za pomocą środków łączności radiowej. W tym wypadku pilot pozbawiony jest możliwości samodzielnej aktywnej pracy i powinien biernie wykonywać przekazywane mu komendy. Sam nie ma możliwości określania danych o linii planowania. Metoda ta w pewnym stopniu wstrzymuje inicjatywę pilota co nie zawsze jest wskazane.

Aby pilot sam mógł oceniać położenie samolotu w stosunku do żądanej linii planowania i samodzielnie podejmować decyzje na pokładzie samolotu powinny znajdować się odpowiednie przyrządy, za pomocą których można określać dane o odległości, azymucie i kącie wzniesienia w stosunku do płaszczyzny pasa startowego i punktu przyziemienia.

Przyrządy tego typu montowane są na pokładzie samolotu, za pomocą których na pokład samolotu retransmituje się sygnały z radiolokacyjnej stacji lądowania. Na stacji lądowania znajduje się specjalny nadajnik, modulowany sygnałami położenia samolotu zdejmowanymi z aparatury wskaźnikowej, a na samolocie zamontowany jest odbiornik sygnałów położenia samolotu oraz odpowiednie wskaźniki.

Dla pełnej automatyzacji procesu lądowania, pilota powinien zastąpić autopilot. Sygnały sterowania autopilotem powinny być przekazywane z ziemi. Dla wypracowania tych sygnałów wykorzystuje się dodatkową aparaturę sterowaną sygnałami położenia samolotu zdejmowanymi ze wskaźników radiolokacyjnej stacji lądowania.

Zasadniczo autopilot sterowany sygnałami z radiolokacyjnej stacji lądowania może zapewnić lądowanie aż do punktu przyziemienia na pasie startowym. Jednakże dokładność wojskowych stacji lądowania jeszcze nie zabezpiecza pełnej automatyzacji przyziemienia. Dlatego też wykorzystanie ich w systemach automatycznego lądowania nie jest możliwe. Tym niemniej mogą być stosowane do automatycznego obniżania samolotu do chwili bezpośredniej widzialności pasa startowego, po czym ostatni etap lądowania-przyziemienie wykonuje pilot - człowiek.

Rozpatrzmy po krótku problemy automatycznego lądowania samolotów.

Lądowanie samolotów odbywa się jak wiadomo w pięciu fazach a mianowicie:

- planowanie;
- wyrównywanie;
- wytrzymywanie;
- przepadanie;
- dobieg.

Dla zapewnienia procesu automatycznego lądowania należy zautomatyzować lądowanie na każdym z poszczególnych etapów lądowania.

Możliwości rozwiązania zadań automatyzacji etapu planowania i kolejnych faz lądowania są różne. Na etapie planowania samolot wykonuje prostoliniowy ruch przy stałym azymu-

cie lotu. Dlatego też zadanie automatyzacji etapu planowania rozwiązuje się stosunkowo prosto za pomocą kursowych i ślizgowych radiolatarni wykorzystywanych w czynnych systemach lądowania.

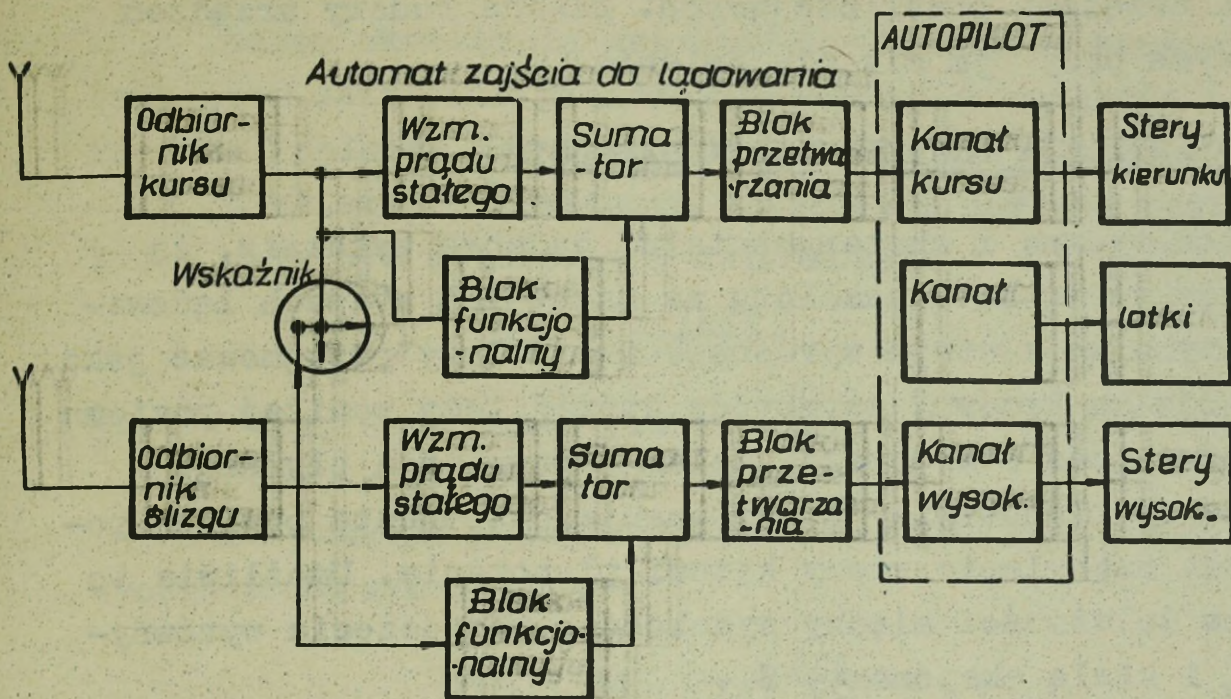
Na ostatnim etapie lądowania, podczas przyziemienia, samolot wykonuje ruch nieustabilizowany w pobliżu ziemi, dlatego też istnieją określone trudności wyznaczenia przewidywanej trajektorii lotu, a tym samym i automatyzacji etapu lądowania tuż nad ziemią.

Zadania pierwszej fazy lądowania dotyczą wyprowadzenia samolotu na kierunek kursu lądowania i zapewnienie ruchu danym kierunkiem z kolejnym przejściem samolotu w reżim planowania. Przy braku wiatru bocznego linia kursu lądowania powinna dokładnie pokryć się z przedłużeniem osi pasa startowego.

Nawet przy braku wiatru bocznego dokładne utrzymanie kursu lądowania jest stosunkowo trudne i staje się dość skomplikowane przy wietrze bocznym, który znosi samolot z kursu lądowania.

Zajście do lądowania z wykorzystaniem automatycznego systemu lądowania wykonywane jest w dwóch etapach. W okresie pierwszego etapu dokonuje się wyprowadzenia samolotu na prawidłowy kurs lądowania przy zapewnieniu stałej wysokości lotu.

Pierwszy etap lotu kończy się z chwilą przecięcia przez samolot zadanej płaszczyzny lądowania. Od tego momentu rozpoczyna się drugi etap zajścia do lądowania - samolot jednocześnie kierowany jest sygnałami radiolatarni kursu i radiolatarni ślizgu. Wejście w strefę radiolatarni ślizgu rozpoczyna się na odległości kilku kilometrów od przedniej granicy pasa startowego. Przy tym samolot powinien być już wyprowadzony na centralną linię radiolatarni kursu. Urządzenia zapewniające wytrzymywanie kursu lądowania i zadanego kąta planowania otrzymały nazwę automatycznych urządzeń zajścia do lądowania. Typowy schemat blokowy takiego urządzenia pokładowego przedstawiony jest na rys. 7.



Rys. 7.

Urządzenie składa się z dwóch kanałów—kanału kursu i kanału ślizgu. W każdym z nich znajdują się wzmacniacze prądu stałego, wyjścia których połączone są równolegle do wychyłowego wskaźnika lądowania pilota.

Blok funkcjonalny zabezpiecza regulację założonego programu lotu z obu kanałów radiotechnicznych. Napięcie z wyjścia wzmacniacza i bloku funkcjonalnego sumowane są w urządzeniu sumującym, a następnie postępują do bloku przetwarzania. Blok przetwarzania ma za zadanie przetworzenie napięcia prądu stałego w napięcie sterujące organami autopilota.

Kierowanie ruchem samolotu dokonuje autopilot z zapewnieniem stabilizacji kursu i kąta wzniesienia. Znaczenie kątów, w stosunku do których autopilot zapewnia stabilizację lotu, wprowadza się do urządzenia przeliczającego przez załogę.

Układ automatycznego urządzenia zejścia do lądowania zapewnia wysokie prawdopodobieństwo ślepego lądowania z pierwszego zejścia i znacznie ułatwia przejście z planowania według przyrządów do planowania wizualnego.

Automatyczne zejście do lądowania może być również wykonywane za pomocą dokładnych radiolokacyjnych stacji lądowania z zasto-

sowaniem urządzeń przeliczających. Zasada budowy urządzeń pokładowych przy tym się nie zmienia.

#### 10. AUTOMATYZACJA PRZYZIEMIENIA SAMOLOTU

Teoretyczne i eksperymentalne badania wykazały, że jako trajektorię lotu samolotu na ostatnich etapach lądowania, poczynając z etapu wyrównywania, należy przyjmować jako eksponencjalną krzywą, asymptoda której leży poniżej poziomu płaszczyzny pasa startowego. Celem zapewnienia płynnego przejścia od planowania do wyrównywania eksponenta powinna posiadać kąt nachylenia równy kątowi planowania. Umożliwia to ustalenie zależności między wysokością rozpoczęcia wyrównywania  $H_w$  i stałą eksponenty  $S_0$ .

$$\varepsilon_{pl} = \frac{H_w}{S_0} \quad - \text{kąt planowania}$$

Wysokość wyrównywania oceniana jest z zależności:

$$H_w = \frac{V_{pl} \cdot \sin \varepsilon_{pl} / 2}{2g / 0,8 \frac{C_{g \max}}{C_{gpl}} - 1}$$

gdzie:  $H_w$  - wysokość rozpoczęcia wyrównywania;

$S_0$  - stały współczynnik eksponenty;

$\varepsilon_{pl}$  - kąt planowania;

$V_{pl}$  - prędkość planowania;

$g$  - przyspieszenie ziemskie;

$C_{gpl}$  - współczynnik siły wznoszenia przy planowaniu.

We współrzędnych "wysokość - odległość" równania trajektorii przyziemienia samolotu posiada następującą postać:

$$h = H_w - \Delta h / e^{-\frac{S}{S_0}}$$

gdzie:  $h$  - bieżące znaczenie wysokości;

$S$  - bieżące znaczenie odległości;

$\Delta h$  - odcinek, na której oś  $x$  leży poniżej poziomu płaszczyzny pasa startowego.

Celem określenia wszystkich parametrów krzywej koniecznej jest założenie pionowej prędkości w momencie przyziemienia. Prędkość tę normalnie wybiera się w granicach 0,5m/sek.

W związku z powyższym eksponenta powinna posiadać kąt, który może być wyliczony z zależności:

$$\epsilon_{pl} = -\frac{V_{prz}}{V_{pl}}$$

gdzie:  $V_{prz}$  - prędkość przyziemienia;

$V_{pl}$  - prędkość planowania.

Po prostym przekształceniu naszych zależności matematycznych otrzymamy:

$$\Delta h = H_w \cdot \frac{\epsilon_{prz}}{\epsilon_{pl} - \epsilon_{prz}}$$

Po określeniu  $\Delta h$  określamy sumę  $/H_w + \Delta h/$ , a następnie znajdujemy  $S_o$ :

$$S_o = \frac{H_w}{\epsilon_{pl}}$$

Widzimy z powyższego, że wszystkie parametry idealizowanej krzywej wyrównywania będą określone.

Kąt planowania  $\epsilon_{pl}$  i prędkość planowania  $V_{pl}$  zmieniają się w zależności od ciężaru samolotu i określane są za pomocą specjalnych tablic.

Zadaniem automatycznego systemu lądowania jest zapewnienie przyziemienia samolotu według przyjętej zasady. Rozwiązanie założonej trajektorii można dokonać dwoma sposobami.

Pierwszy sposób polega na tym, że za pomocą środków radiotechnicznych zadaje się w przestrzeni idealizowaną linię wyrównywania, po której powinien być prowadzony środek ciężkości samolotu. Metoda taka otrzymała nazwę przyziemienia po "twardej trajektorii", ponieważ tor dla danego typu samolotu zawsze pozostaje stały.

Jednakże sposób "twardej trajektorii" w praktyce nie jest stosowany ponieważ samolot wychodzi na wysokość początkowo wyrównywania z kątem planowania różniącym się od optymalnego kąta obliczonego. W tym wypadku realizacja automatycznego przyziemienia samolotu jest dość trudna i ryzykowna.

Lepszą metodą jest metoda przyziemienia z „elastyczną trajekcją”. W tym celu na samolocie dokonuje się pomiaru faktycznych wielkości kąta planowania i prędkości planowania z początkiem wyrównywania, a urządzenie przelicznikowe określa taką linię przyziemienia, która najbardziej odpowiada początkowym warunkom wyrównywania.

Aparatura automatycznego urządzenia przyziemienia według metody „elastycznej trajektorii” składa się z następujących układów:

- dokładnego wysokościomierza;
- bloku programowego;
- układu przeliczającego;
- układu porównywania;
- bloku funkcjonalnego;
- układu pomiaru kąta planowania;
- układu autopilota;
- urządzeń wykonawczych /sterowania/.

Urządzenie programowe wypracowuje napięcia względnie prądu, wielkość których proporcjonalna jest parametrom wyliczonej krzywej przyziemienia.

Przykładem takiego urządzenia programowego może być obwód z szeregowego połączenia oporności  $R$  i indukcyjności  $L$ , połączony ze źródłem prądu stałego. W początkowym momencie wszystkie napięcia przyłożone do cewki indukcyjnej są stałe, a następnie eksponencjalnie spadają. Przy stałej czasie linii przyziemienia  $S_0$  i wyborze czasu  $T_0$  z zależności:

$$S_0 = T_0 \cdot V_{pl}$$

napięcie na cewce indukcyjnej będzie przedstawiać krzywą przyziemienia.

Ponieważ:

$$S_0 = \frac{H_w + \Delta h}{\Theta_{pl}} \quad \text{to} \quad H_w + \Delta h = T_0 V_{pl} \cdot \Theta_{pl}.$$

Zakładamy, że  $H_w$  na początku wyrównywania podtrzymywane jest na stałej wysokości. W tym wypadku dla prawidłowego sporządzenia programu konieczne jest wybrać  $T_0$  odpowiednio z warunkiem:

$$T_0 = \frac{H_0 + \Delta h}{V_{pl} \cdot \Theta_{pl}}$$

Urządzenie przelicznikowe przeznaczone jest do obliczania iloczynu  $V_{pl} \cdot \Theta_{pl}$  oraz wznoszenia odpowiednich poprawek do wielkości  $T_0$  bloku programowego za pomocą zmiany oporności  $R$ . Wielkości  $V_{pl}$  i  $\Theta_{pl}$  może być wprowadzane automatycznie lub ręcznie.

Dokładny wysokościomierz dokonuje pomiaru bieżącej rzeczywistej wysokości samolotu. Napięcia z bloku programowego i wysokościomierza doprowadzane są do bloku porównywania, który określa różnicę między tymi napięciami i wypracowuje odpowiedni sygnał błędu. Napięcie sygnału błędu poprzez blok funkcjonalny uruchamia i steruje pracą kanału kąta wzniesienia i autopilotem.

Blok funkcjonalny zapewnia wysoką jakość automatycznego sterowania wyrównywaniem, uwzględniając pochodną od sygnału błędu oraz opóźnienie z jakim samolot reaguje na zmiany położenia sterów wysokości.

Wskazane jest przy tym pracę wysokościomierza sprzęgać z pracą czułego integralnego akcelerometru, dokładność którego niezależna jest od stanu powierzchni ziemi, co poprawia jakość pracy automatycznego urządzenia wyrównywania.

Przebiegiem danych pozycji samolotu przy automatycznym przyziemieniu może być dokładna radiolokacyjna stacja lądowania sprzęgnięta z urządzeniem pokładowym automatycznego lądowania za pomocą środków radiotechnicznych i elektronicznych maszyn liczących.

Pełne automatyczne przyziemienie z wykorzystaniem specjalistycznych naziemnych stacji lądowania może być w pełni wykorzystane tylko przy nie występowaniu zakłóceń biernych. W wypadku występowania zakłóceń od przedmiotów terenowych stosowane są układy tłumienia ech stałych, efektywność których nie jest jeszcze zadowalająca, co zmusza do wykonywania ostatniego etapu lądowania w sposób wizualny na podstawie obserwacji pasa startowego przez pilota.

W związku z powyższym pełną automatyzację lądowania stosuje się tylko na lotniskach cywilnych przy stacjonarnych urządzeniach naziemnych oraz przy lądowaniu na lotniskowcach.

-----  
-----  
-----

LITERATURA:

1. J.A. Jurkow - Awtomatizacja posadki samolotów - LKWWJA-1958 r.
2. G.S. Pospiełow - Awtomaticzeskoje upravljenje polotom samolota. WWJA im. ŻUKOWSKIEGO - 1959 r.
3. Zarubieżnaja radioelektronika nr 1 1960 r.  
Anglijska sistema ślepoj posadki samolotow w słożnych metieorologiczeskich usłowiach.
4. W.F. Bolchowitinow - Puti razwitia letatielnych apparatow. Oborongiz - 1962 r.
5. G.P. Astafiew - Radiotiechniczeskije średstwa nawigacii letatielnych apparatow.

Wyk. w 40 egz.

Egz. nr 1-40-bibl. IWL. Jawna  
Wyk. mjr SIWICKI  
Druk JD, dn. 8.11.71 r.  
nr ks. 1662/2930/WW.  
Kor. H.S.

-----  
Druk ASG-OXV-5191 Zam. 2.7.5. z dn..... druk ukończ. ....

