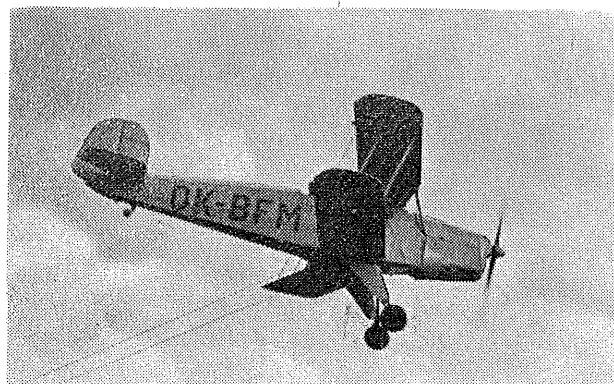
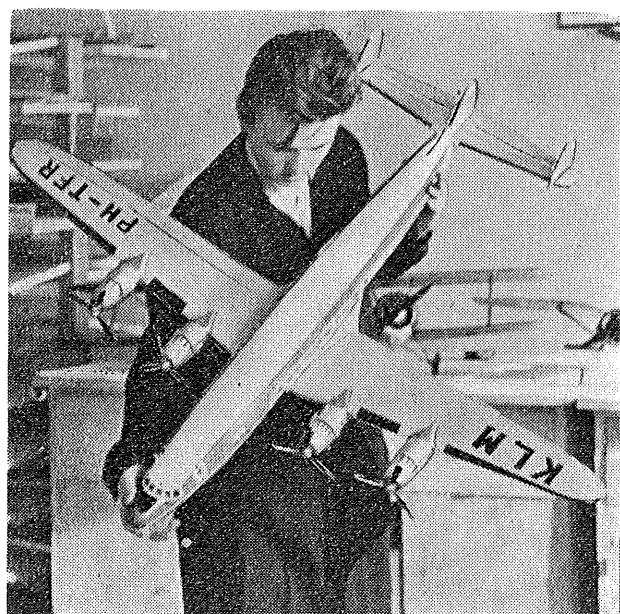


6

Modele na uwięzi



6-1. Miniaturowy samolot w locie na uwięzi (foto autora)



116 6-2. I taki model można zbudować (foto autora)

Szybkość, zwrotność i sterowność — oto zasadnicze cechy modeli na uwięzi. Model na uwięzi jest stale i bezpośrednio związany z pilotem. Za pośrednictwem linek przekazuje na dłoń pilota siłę odśrodkową, potęgując w ten sposób wrażenie szybkości i sterowności. Kiedy prędkość wzrasta, rośnie siła na uchwycie sterowym, gdy prędkość maleje, siła na uchwycie spada i model traci sterowność, podobnie jak samolot prawdziwy. Dzięki linkom pilot czuje swój model, a poznawszy jego cechy pilotażowe jest w stanie przewidzieć, jak zachowa się mały samolot w różnych sytuacjach. Może odparować sterami zdradliwe uderzenia wiatru, potrafi uratować miniaturowy samolot w razie awarii silnika, słowem panuje nad modelem tak, jak panuje nad swoją maszyną pilot samolotu prawdziwego (rys. 6-1).

Tu nie ma przypadków jeśli model został prawidłowo zaprojektowany i zbudowany — tylko od pilota zależy pomyślny wynik lotu.

Fakt, że modelarze budując miniaturowy samolot chętniej wybierają wersję na uwięzi, jest spowodowany tym, że tutaj ryzyko jest mniejsze. W stosunku do modeli swobodnie latających obowiązują wiele zakazów i rygorów. Nie każdy model do swobodnej redukcji się nadaje i nie zawsze jesteśmy całkowicie pewni, że model będzie latał poprawnie. Przy modelach na uwięzi nie ma kłopotu z wyborem odpowiedniego samolotu do redukcji, a obawy o pomyślny wynik są znacznie mniejsze (rys. 6-2).

Jest jednak jeden zasadniczy warunek: musimy mieć „licencję pilota”. Budując model samolotu sportowego, musimy mieć „uprawnienia pilota sportowego”. Do pilotażu samolotów myśliwskich „uprawnienia” nasze muszą być znacznie wyższe, zaś prawo prowadzenia modeli samolotów wielo-

silnikowych będą mieli tylko ci, którzy dysponują „licencją I klasy”.

Nie chodzi tu, oczywiście, o konieczność zdawania egzaminu, lecz oznacza to, że przystępując do budowy miniaturowego samolotu na uwięzi modelarz już przedtem powinien zdobyć umiejętność pilotowania tego typu modeli — ucząc się na znacznie prostszym modelu. W tym celu w części pierwszej „ABC miniaturowego lotnictwa” autor opisał wersję WICHERKA na uwięzi — na tym modelu, wykonanym samodzielnie, należy opanować sztukę pilotażu. Szkoda bowiem miniaturowego samolotu do nauki pilotażu — niedoświadczony „pilot” łatwo go rozbije i, co gorsze, nie będzie wiedział, co było tego przyczyną.

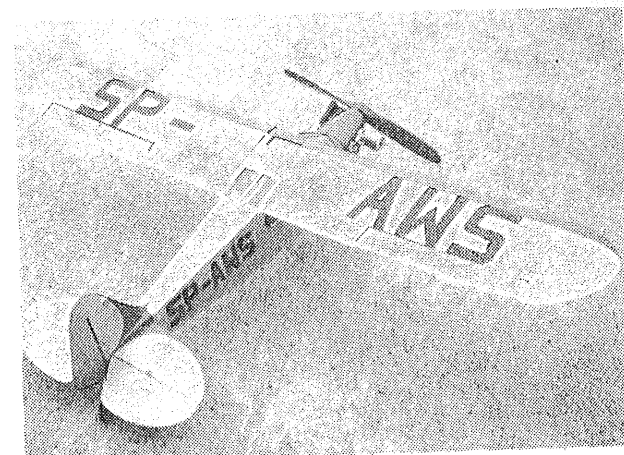
Piszę to z własnego doświadczenia. Kiedy stałem się szczęśliwym posiadaczem pierwszego w moim życiu silniczka, zbudowałem mój pierwszy model na uwięzi. Był to rasowy myśliwiec — latająca kopia angielskiego myśliwca HAWKER TEMPEST. Pomalowałem swój model starannie. Namalowałem na nim mnóstwo znaków i napisów. „Bojowego” wyglądu dopełniało wspaniałe trójęłatkowe śmigło — efekt wielu dni myślenia i tyleż roboty. W końcu nadszedł moment pierwszego startu. Niezapomniane to były chwile, kiedy mój samolot warcząc gromko i wzbijając kurz ze szkolnego boiska stanął na starcie. Wszystko doskonale pamiętam do chwili startu. Potem... pamięć mnie zawodzi, wiem, że odbyło się błyskawicznie: start, chwila jazdy, trochę podskoków, kończy się gładka część boiska — zaczyna się trawa. Przypominam sobie, jak czytałem w „L jak Lucy”, co robi się w takim momencie — ściagam więc ster — model wyskakuje do góry... Oprzytomniałem, kiedy mój myśliwiec leżał na ziemi w pozie nie bardzo myśliwskiej. Najbardziej było mi żal śmigielka — wszystkie trzy łopatki połamane.

Jeśli sobie dobrze przypominam, połamałem potem jeszcze tuzin śmigieł, trzy razy robiłem nowe skrzydła, dziesięć razy naprawiałem podwozie. Potem nauczyłem się pilotażu. Straciłem na to dwa miesiące wakacji — przez dwa miesiące tylko naprawiałem, latałem i bałem się, że zanim dojdzie do opanowania tej trudnej sztuki, mój silnik i model przestaną istnieć.

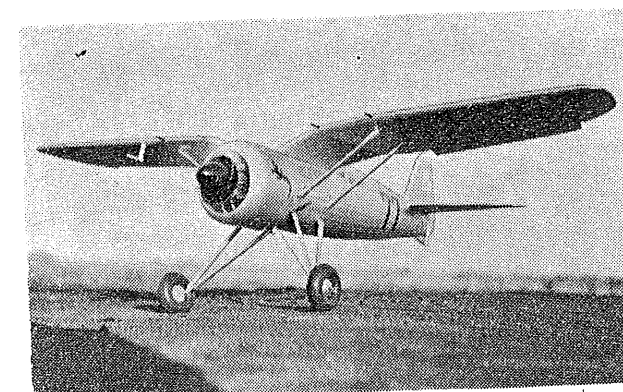
Jako drugi zbudowałem model sportowego górnopłata, popularnego u nas wówczas PIPERA (rys. 6-3). Jakże prosty był pilotaż tego modelu! Modelik latał dosłownie sam, zwinny, zgrabny, posłuszny każdemu ruchowi ręki. Polubiłem go od pierwszego lotu i chociaż już dawno nie istnieje, wspominać go, jak dobrego przyjaciela.

Nie chciałem Was przestraszyć, mili Czytelnicy, opisem perypetii mojego HAWKERA — to były czasy pionierskie, mało kto wiedział wówczas, co to jest model na uwięzi i jak się go buduje.

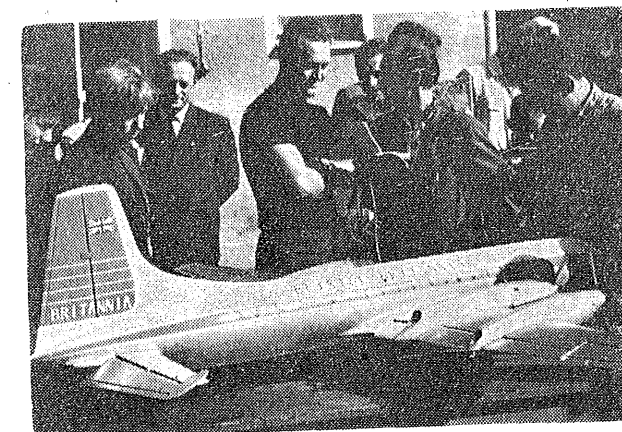
Radzę Wam tylko skorzystać z dobrych rad i doświadczenia, a wszystko pójdzie jak najlepiej. Na początek zbudujecie WICHERKA U, potem wybierzecie jakiś przyjemny sportowy górnopłacik, potem jakiś sportowy dolnopłat, potem coś wyścigowego, a potem można sięgać wyżej — do lotnictwa myśliwskiego (rys. 6-4), akrobacji i linii komunikacyjnych (rys. 6-5).



6-3. Samolot PIPER CUB idealnie nadaje się na pierwszy model na uwięzi (foto autora)



6-4. Model samolotu myśliwskiego PZL P-24 (foto autora)



6-5. Komisja sędziowska ogląda model czterosilnikowego samolotu komunikacyjnego (foto autora)

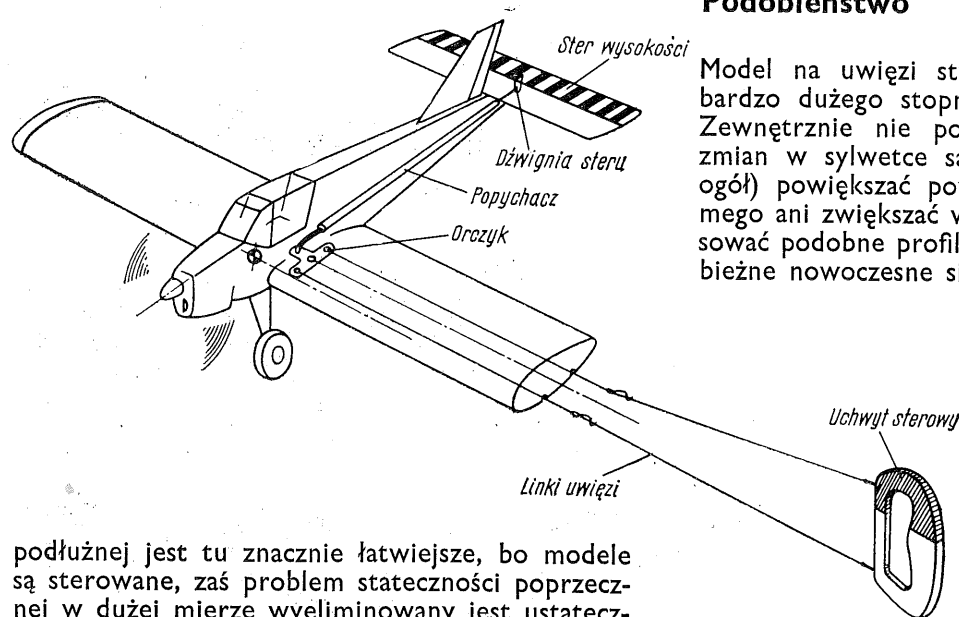
Projektowanie modeli na uwięzi

Cykl projektowania miniaturowych samolotów w wersji sterowanej linkami będzie przebiegał w podobnej kolejności jak modeli swobodnie latających — inne jednak będą wymagania i inne możliwości.

Zasada sterowania modeli na uwięzi jest równie prosta, jak genialna (rys. 6-6), w niezmienionej postaci trwa już od wielu lat. Przypominam ją więc

tylko dla formalności. Układ sterowania oparty jest na zasadzie równoległoboku utworzonego z uchwytu trzymanego przez pilota i dźwigni dwuramienniej, tzw. orczyka zamocowanego w modelu, połączonych dwoma linkami uwięzi. Model lata po okręgu, a całość napięta jest działaniem siły odśrodkowej. Zmiana położenia uchwytu sterowego przez pilota powoduje wychylenie orczyka w modelu, a ten z kolei za pośrednictwem linek lub popychacza napędza ster wysokości. Do sterowania miniaturowych samolotów na uwięzi stosuje się wyłącznie klasyczny system dwulinkowy. Mogą być przewidziane również linki dodatkowe — do napędu urządzeń pomocniczych. Ich zastosowanie omówimy nieco dalej.

O ile przy projektowaniu swobodnie latających byliśmy bardzo skrupowani w wyborze odpowiedniego samolotu do redukcji, o tyle w stosunku do modeli na uwięzi problem ten prawie nie istnieje. Dzieje się tak dlatego, że uzyskanie stateczności



podłużnej jest tu znacznie łatwiejsze, bo modele są sterowane, zaś problem stateczności poprzecznej w dużej mierze wyeliminowany jest ustającą wpływem naciągniętych linek.

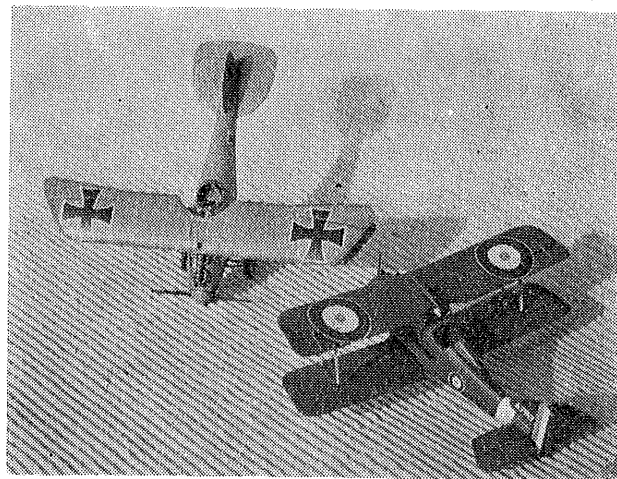
Nie oznacza to, oczywiście, że skoro model na uwięzi ma ruchomy ster, to automatycznie wszystko się samo załatwi. Ster jest tylko organem sterowania, a właściwości pilotażowe modelu to sprawa zupełnie inna.

Wybierając odpowiedni samolot musimy pamiętać o tym, że modele dziedziczą cechy pilotażowe dużych samolotów. Wszystkie te samoloty, które nie nadawały się na modele latające swobodnie, a więc krótkie, pękate dolnopłaty o małych statecznikach, będą trudne w pilotażu.

Kto nie posiada odpowiedniej wprawy, niech lepiej nie wybiera takiego samolotu na początek. Na pierwszy model radzę wybrać taki samolot, jak na model swobodny — a więc górnopłat o dużym usterzeniu.

Niektórzy modelarze lubują się na przykład w odtwarzaniu starych, historycznych samolotów, choć znalezienie odpowiednich materiałów nie jest rzeczą łatwą.* Wyniki ich pracy są bardzo piękne i pożyteczne (rys. 6-7).

* Plany i opisy samolotów historycznych oraz ich modeli znajduje Czytelnik w książce autora pt. „Samoloty w historii i w miniaturze” WKŁ 1973.

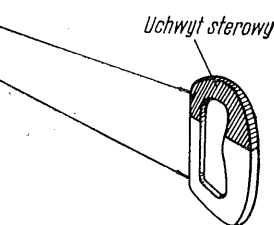


6-7. Przeciwnicy z I wojny światowej

(foto autora)

Podobieństwo

Model na uwięzi stwarza możliwości uzyskania bardzo dużego stopnia podobieństwa (rys. 6-8). Zewnętrznie nie potrzeba dokonywać żadnych zmian w sylwetce samolotu — nie potrzeba (na ogół) powiększać powierzchni statecznika poziomego ani zwiększać wzniosu skrzydeł. Można stosować podobne profile jak w samolocie, a szybko-bieżne nowoczesne silniki umożliwiają zastosowa-



6-6. Zasada sterowania modelem na uwięzi

nie niewielkich śmigieł, dzięki czemu pasują one nawet do modeli samolotów wielosilnikowych nie psując sylwetki, a umożliwiając zastosowanie normalnego podwozia.

Jedynym mankamentem jest konieczność stosowania przedniego wyważenia, co może sprawiać trudności w budowie dolnopłatów o dwukołowym podwoziu, ponieważ kółka wypadają prawie

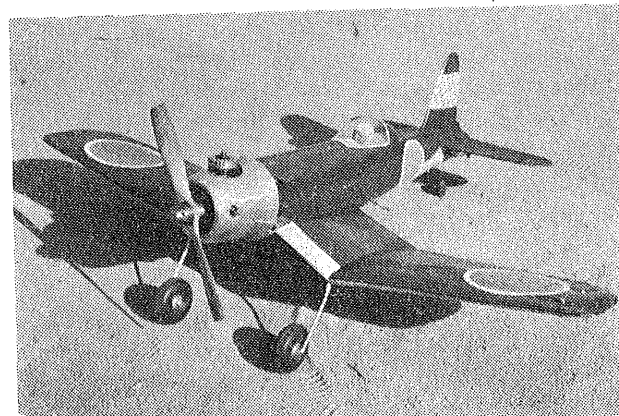


6-8. Samolot czy model? Model na uwięzi samolotu PWS-26

(foto autora)

pod środkiem ciężkości. Niezbędne jest wówczas wysunięcie podwozia w przód. Przykładem może być rysunek 6-9. Jak widzimy, wysunięcie podwozia nie razi zbyt wiele.

Duży dopuszczalny ciężar modeli na uwięzi pozwala na zastosowanie skorupowych konstrukcji imitujących, a nawet zastosować metalowe pokrycie z cienkiej blachy duraluminiowej. Zdarzają się również całkowicie metalowe konstrukcje nowoczesnych samolotów. Możemy też wykonać



6-9. Wysunięte do przodu podwozie nie psuje zbyt wiele sylwetki samolotu

(foto autora)

i zamontować w modelu bardzo drobiazgowo wyposażenie, zarówno zewnętrzne, jak i wewnętrzne. Można wreszcie stosować daleko posuniętą mechanizację, na przykład chowane podwozie, opuszczane klapy oraz budować ciężkie i skomplikowane modele wielosilnikowe. Możliwości budowania miniaturowych samolotów na uwięzi są bardzo duże. Przykładem tego niech będą fotografie — rysunek 6-10.

Jeżeli dodać do tego bezpieczeństwo w locie, jakie gwarantuje prawidłowy pilotaż, okazuje się, że model na uwięzi pozwala na bardzo wierne odtworzenie prawdziwego samolotu w miniaturze. Te cechy spowodowały, że modele na uwięzi stały się jednym z najbardziej popularnych i atrakcyjnych działów miniaturowego lotnictwa.

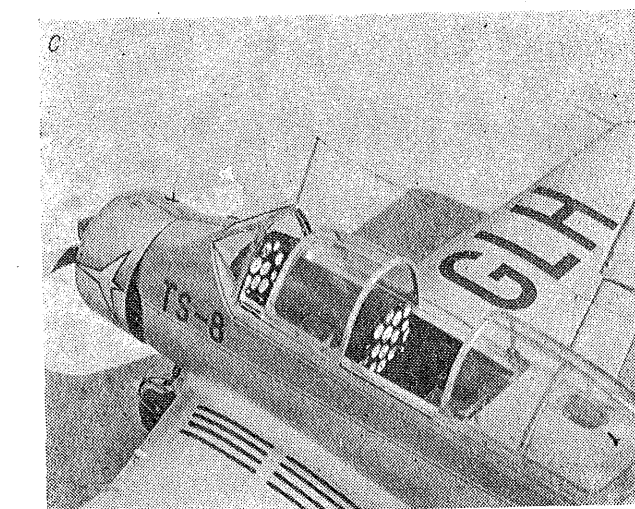
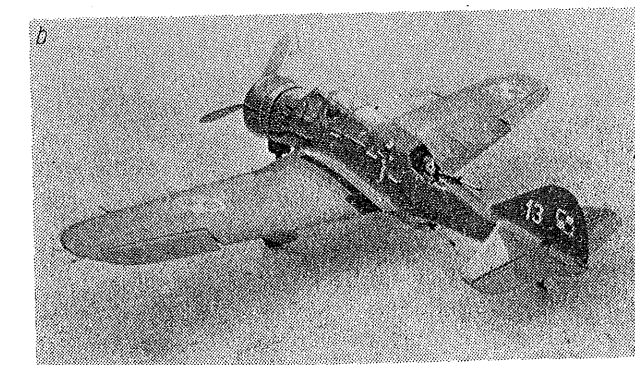
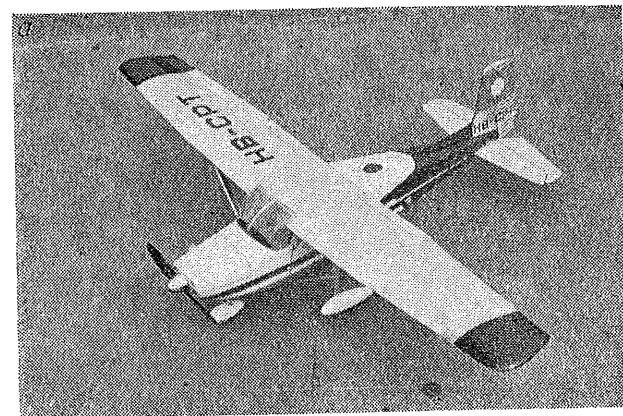
Wyobraźmy sobie model samolotu myśliwskiego, który startuje jak samolot normalny — rozpędza się, odrywa się od ziemi, chowa podwozie, osiąga znaczne prędkości, może wykonywać wiele bojowych manewrów — atakować, szturmować cele naziemne, bombardować, a nawet strzelać, a po wykonaniu zadania wraca do swej „bazy” i ląduje z wypuszczonym podwoziem.

Przy modelach na uwięzi możemy sobie pozwolić na większą różnorodność i upodobnić ich lot do lotu samolotów prawdziwych.

Najbardziej charakterystyczny dla modelu samolotu jest jego start i lot.

Zastanówmy się, jak startują i latają samoloty prawdziwe. Oto trzy zasadnicze możliwości startu i lotu maszyn z napędem śmigłowym:

- samoloty sportowe mają krótki start przy małej prędkości; latają stosunkowo powoli,
- samoloty myśliwskie mają dłuższy rozbieg niż samoloty sportowe, rozpędzają się szybko i latają z umiarkowaną prędkością,
- samoloty bombowe i komunikacyjne mają start długi, rozpędzają się powoli, a po starcie latają z umiarkowaną prędkością.



6-10. Możliwości budowania modeli na uwięzi

a — model samolotu CESSNA 170 o całkowicie metalowym pokryciu, b — PZL P-23 KARAS z bogatym wyposażeniem zewnętrznym, c — skorupowa konstrukcja, otwierana, w pełni wyposażona kabina modelu samolotu TS-8 BIES, d — olbrzymi, zmechanizowany model samolotu komunikacyjnego PZL WICHER

(foto autora)

Co należy więc zrobić, aby te cechy osiągnąć w modelu na uwięzi?

W przypadku modeli napędzanych silnikami o jednakowej mocy prędkości kształtują się następująco:

- małą prędkość startu osiąga model o dużej powierzchni nośnej w stosunku do ciężaru, tzn. przy małym obciążeniu powierzchni nośnej; małą prędkość w locie model ma wówczas, kiedy jego opór jest duży, czyli kiedy rozmiary modelu są duże;
- lekki model szybko się rozpędza; przy małych rozmiarach obciążenie powierzchni i prędkość startu są duże, w locie model ma mały opór i dużą prędkość;
- powoli startuje model ciężki; nawet przy dość dużej powierzchni obciążenie nie jest małe i start wymaga nabrania sporej prędkości; droga startu jest długa; w locie model nie może osiągnąć zbyt wielkiej prędkości, bo jest duży i ciężki.

Tak to wygląda z modelarskiego punktu widzenia. Można oczywiście stosować inne metody: jeśli mamy do dyspozycji różne silniki, to zamiast budowania dużego i ciężkiego modelu latającego powoli możemy zbudować model mały i lekki, ale ze słabym, małym silnikiem.

Dobór rozmiarów miniaturowych samolotów na uwięzi

Typ samolotu	Pojemność silnika [cm³]							
	1,5 lub 2×0,8		2,5 lub 2×1,5		5 lub 2×2,5 lub 4×1,5		10 lub 2×5 lub 4×2,5	
	Ciężar modelu Q [G] i powierzchnia skrzydła S [dm²]							
	Q	S	Q	S	Q	S	Q	S
Sportowy	420	9	700	14	1400	26	2600	48
Treningowy, łącznikowy	360	6	600	10	1200	18	2400	32
Myśliwski, szturmowy	300	4	500	7	900	12	1600	20
Szybki bombowy lub komunikacyjny	420	6	700	10	1400	16	2600	28
Ciężki bombowy, duży komunikacyjny	480	8	800	12	1600	24	3200	44
Akrobacyjny	300	10	500	16	1000	32	2000	64

Uwaga: Dopuszczalne przekroczenie ciężaru +25%, graniczne +50%, tolerancja powierzchni skrzydła —10%÷+20%. Rozmiary zalecane w ramkach

Proporcjonalność prędkości modelu i samolotu nie może być brana dosłownie. Aby określić właściwą proporcję dla modelu, trzeba zdać sobie sprawę z tego, w jaki sposób i z jakiego punktu widzenia ocenia przeciętny obserwator prędkość samolotu:

- samoloty sportowe nie latają zbyt wysoko, zatem ich prędkość nie wydaje się mała,
- lot nurkującego samolotu myśliwskiego czy szturmowego daje nam wrażenie wielkiej prędkości,
- samoloty bombowe obserwujemy na znacznych wysokościach i wówczas, mimo że ich rzeczywista prędkość nie jest zbyt mała, wydaje się nam, że obciążone ładunkiem z trudem posuwają się naprzód.

Prędkość samolotu myśliwskiego (śmigłowego) jest kilkakrotnie większa od prędkości samolotu sportowego. Wystarczy natomiast zwiększyć prędkość modelu na uwięzi z 90 km/h do 120 km/h, aby otrzymać złudzenie podobne.

Utrafienie właściwych proporcji byłoby bardzo trudne bez pomocy doświadczenia i obliczeń. Aby to zadanie ułatwić, sporządzono zestawienie, które pomaga ominąć trudności i przeprowadzić właściwy dobór proporcji (tabl. 6-1).

Dobór powierzchni i ciężaru

Tablica 6-1 pomaga w doborze ciężaru i powierzchni modelu zależnie od tego, jaki typ samolotu zamierzamy budować w miniaturze oraz do jakiego silnika model ma być przystosowany. Tablica została sporządzona przy założeniu, że będziemy dysponować przeciętnie dobrymi silnikami o wydajności około 0,1 KM/cm³.

Dziwny może się wydać fakt, że dla tego samego silnika model samolotu sportowego będzie większy i cięższy od modelu myśliwca, a samolot akrobacyjny będzie miał większą powierzchnię od ciężkiego bombowca. Wątpliwość wyjaśnia przykład. Samolot myśliwski waży 3000 kG i ma silnik o mocy 1500 KM. Na 1 KM przypada więc 2 kG. Odpowiednio samolot sportowy waży 600 kG, a ma

Tablica 6-1

Tablica 6-2
Osiągi miniaturowych samolotów na uwięzi

Typ samolotu	Prędkość [km/h]		
	maksymalna	dla połowy mocy	minimalna (startu)
Sportowy	90	60	35
Treningowy łącznikowy	105	65	40
Myśliwski	120	75	50
Szybki bombowy lub komunikacyjny	100	65	40
Ciężki bombowy, duży komunikacyjny	90	55	40
Akrobacyjny	105	—	28

leży się spodziewać od modeli różnych typów, zbudowanych według wskazówek podanych poprzednio w tablicy 6-1.

Osiągi są orientacyjne i przeciętnie możliwe do uzyskania pod warunkiem prawidłowego zaprojektowania i zbudowania modelu oraz prawidłowego doboru zespołu silnik — śmigło.

Z tablicy wynika, że modele mogą latać na mocy zredukowanej o połowę, co umożliwia modelom

Położenie środka ciężkości zależnie od charakterystyki modelu

Lp.	Charakterystyka modelu	Szkic orientacyjny	Odległość środka ciężkości od krawędzi natarcia w % średniej cięży
1	Dolnopłaty o pękatych kadłubach. Mała powierzchnia i małe ramie statecznika poziomego, np. GEE-BEE		0÷10%
2	Górnopłaty o pękatych kadłubach, np. PZL P-24 Dolnopłaty o smuklejszych kształtach, np. SPITFIRE		5÷15%
3	Przeciętne górnopłaty sportowe, np. PIPER Cub Smukłe dolnopłaty, np. ZLIN Trener		10÷20%
4	Modele akrobacyjne o symetrycznym profilu skrzydeł i dużym usterzeniu poziomym (specjalnie przystosowane)		20÷25%

Tablica 6-3

2-silnikowym lot na jednym silniku, a 4-silnikowym na dwu silnikach, podobnie zresztą jak to jest wymagane w lotnictwie prawdziwym. Zostało to osiągnięte przez odpowiedni dobór rozmiarów i ciężaru modelu.

Rozmiary modelu trzeba dobrać w ten sposób, aby powierzchnia skrzydła była równa podanej w tablicy.

Stateczność podłużna modeli na uwięzi

Okoliczność, że model jest sterowany linkami, nie zwalnia nas wcale od obowiązku zapewnienia mu prawidłowej stateczności podłużnej. Brak stateczności podłużnej może bowiem utrudnić lub nawet uniemożliwić pilotowanie modelu — dlatego już w projekcie trzeba się przed niespodziankami zabezpieczyć. Stateczność podłużną modeli na uwięzi oceniamy podobnie, jak modeli swobodnych. Największy wpływ ma wyważenie modelu.

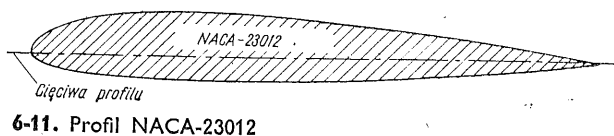
Jeżeli środek ciężkości modelu będziemy przesuwając do tyłu, np. przez doczepianie ciężarków do ogona, stateczność podłużna będzie się pogarszała,

co objawi się nieprawidłowym pilotażem. Model stanie się nerwowy, byle jaki podmuch będzie go wytrącał z równowagi i będą trudności z utrzymaniem prostego lotu. Przy odwrotnym zabiegu, kiedy środek ciężkości będzie się przesunął do przodu, zaobserwujemy początkowo wzrost stateczności i prawidłowy pilotaż. Wskutek dalszego przesuwania środka ciężkości w przód model stanie się „ciężki na nos”, co objawi się tym, że z trudnością będzie nabierał wysokości, będzie się „opierał” działaniu sterów, a podczas lądowania będzie spadał „jak kamień” wskutek tego, że skuteczność wychylenia steru będzie niewystarczająca do nadania modelowi dużego kąta natarcia niezbędnego do przejścia na małe prędkości.

Tablica 6-3 umożliwia określenie najkorzystniejszego położenia środka ciężkości zależnie od charakterystyki modelu. Dla lepszej przejrzystości została ona potraktowana rysunkowo.

Profile modeli na uwięzi

Dla modeli na uwięzi można stosować skrzydła o profilach typu „lotniczego”, podobnie jak w samolotach. Najpopularniejszy z nich to 12-procentowy dwupłatowy profil NACA-23012 (rys. 6-11). Profil ten można stosować do modeli tych samolotów, które miały grubość skrzydła rzędu 12% głębokości. Bardzo często jednak ciężkie i duże samoloty bombowe mają skrzydła grubsze, o profilu 15-, a nawet 18-procentowym.



6-11. Profil NACA-23012

W rozdziale 15 zamieszczono rysunek profili NACA-23012 i współrzędne umożliwiające wykreślenie grubszych profili tej samej rodziny. Są to profile NACA-23015 oraz NACA-23018. Podano tam również dane symetryczne 15-procentowego profilu NACA-0015 stosowanego specjalnie do modeli akrobacyjnych oraz do tych modeli, które wymagają dobrej stateczności podłużnej. W celu uzyskania dużego udźwigu i krótkiego startu można stosować profile CLARK Y. Należy jednak unikać stosowania tego profilu do modeli podejrzanych o małą stateczność (grupa 1 i 2 w tablicy 6-3).

Profile stateczników — płaskie płytki lub profile symetryczne typu NACA, np. NACA-0009 podany w tablicy 15-4.

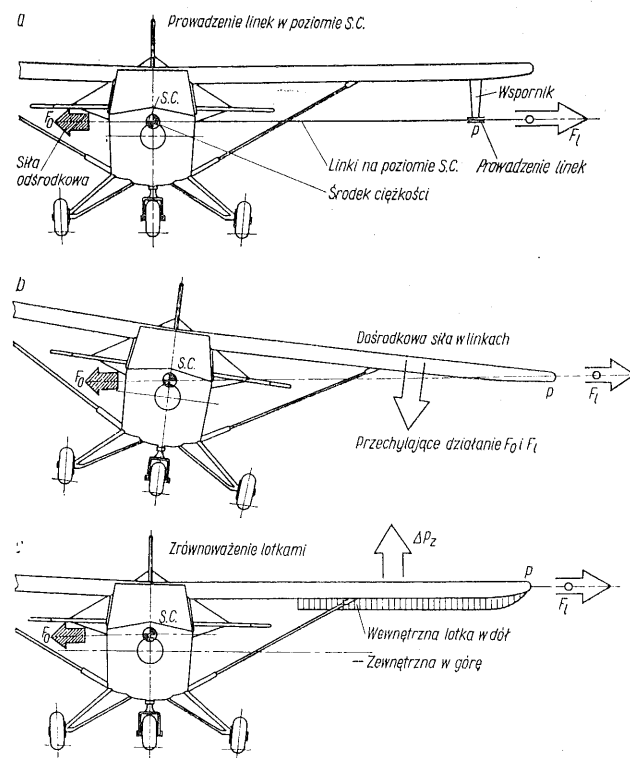
Ustawienie profili skrzydeł i stateczników pod kątem zerowym względem osi kadłuba i osi silnika.

Równowaga poprzeczna i kierunkowa

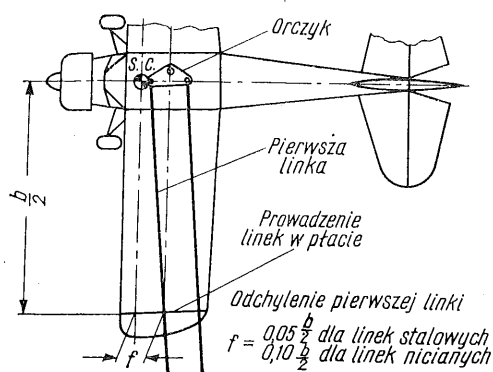
Mimo że model jest „uwiązany” na linkach, istnieje również problem równowagi poprzecznej i kierunkowej. W locie model powinien układać się równo wzdłuż linii lotu. Nie powinien wychylać kadłuba za bardzo na zewnątrz kręgu lub, co gorsze, do wewnątrz; nie powinien lecieć przechylony na skrzydło i nie wolno mu wykazywać najmniejszych tendencji kierowania się do środka kręgu.

Na równowagę poprzeczno-kierunkową wpływają następujące czynniki.

1. Sposób umieszczenia i prowadzenia linek uwięzi. Linki prowadzimy poza płatem lub wewnątrz płata. Dobrą równowagę poprzeczną uzyskamy, jeżeli prowadzenie linek na końcu skrzydła będzie umieszczone mniej więcej na poziomie środka ciężkości lub nieco poniżej (rys. 6-12a). Jeżeli linki prowadzone są w płacie powyżej środka ciężkości to model będzie się przechylał do środka kręgu (rys. 6-12b); aby tego uniknąć, należy tę tendencję skompensować odpowiednim działaniem lotek (rys. 6-12c). Przy dolnopłatach problem ten na ogół nie istnieje, linki można prowadzić w płacie. Dobrą równowagę kierunkową uzyskamy, jeśli prowadzenie linek na końcu płata (w widoku z góry) będzie nieco przesunięte do tyłu względem środka ciężkości. Im lżejszy model i im grubsze linki, tym odległość musi być większa. Rysunek 6-13 orientuje, jak należy usytuować linki w widoku z góry zależnie od typu modelu. Jeżeli linki



6-12. Wpływ prowadzenia linek na poprzeczną równowagę modelu



6-13. Właściwe prowadzenie linek w płaszczyźnie skrzydła

2. Sposób zamontowania osiowo. Dopuszcza się lekkie wychylenie silnika na zewnątrz kręgu (do 3°), w celu poprawienia naciągu linek, nigdy przeciwnie.
3. Sposób ustawienia sterów kierunku. W celu zabezpieczenia modelu przed skretem do środka kręgu ster kierunku (jeśli model ma ruchomy ster) wychyla się nieco na zewnątrz (do 10°). Jeśli model nie ma oddzielnych sterów, można zamontować całe stateczniki kierunkowe niezupełnie osiowo (pod kątem kilku stopni), tak aby ich siła nośna przeciwdziałała obrotowi do wewnątrz kręgu, lub zastosować w stateczniku kierunku profil niesymetryczny.

Sterowność

O sterowności modelu decyduje — oprócz wyważenia — również właściwy dobór rozmiarów mechanizmu sterującego. Rysunek 6-14 przedstawia proporcje kompletnego układu sterowania umożliwiającego właściwe zaprojektowanie poszczególnych jego elementów. Jak widać z rysunku, nie są to sprawy skomplikowane. Rozmiar zasadniczego elementu sterującego — orczyka — określa się bardzo prosto: jeżeli np. średnia ciężka skrzydła wynosi 150 mm, to rozmiar orczyka $D = 150 \times 0,3 = 45$ mm.

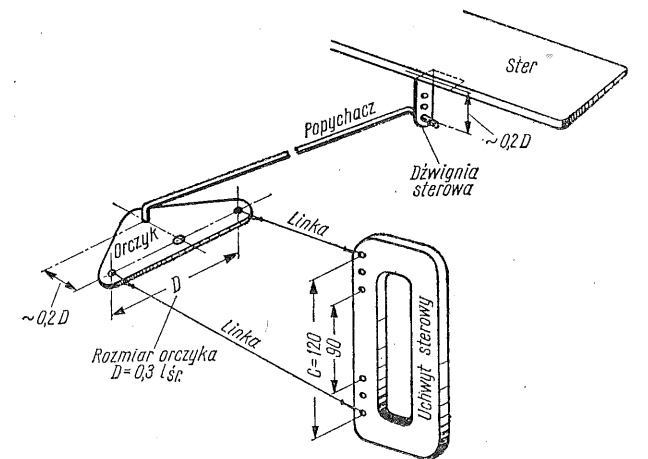
Czułość sterowania będziemy regulowali bądź rozstawieniem linek przy uchwycie sterowym C, bądź długością dźwigni przy sterze. Zmniejszając obie odległości zwiększamy czułość sterowania i odwrotnie. W celu doregulowania właściwej czułości należy przewidzieć szereg dodatkowych otworków przy uchwycie i przy dźwigni sterowej, jak to pokazano na rysunku. Graniczne wychylenia steru powinny być następujące:

- do lotów szkolnych i treningowych -10° do $+15^\circ$,
 - przy zaawansowanym pilotażu i akrobacji $\pm 30^\circ$.
- Taki układ sterowania stosowany jest powszechnie do wszystkich popularnych modeli na uwięzi zaopatrzonych w zwykłe silniki pozbawione możliwości regulacji prędkości obrotowej. Obecnie większość nowoczesnych silników, nawet popularnych, wyposażona jest w sprawnie działające wielozakresowe gaźniki umożliwiające płynną zmianę prędkości obrotowej, a więc i mocy silnika w bardzo szerokich granicach — od biegu jałowego do pełnej mocy.

Wydawać by się mogło, że wystarczy połączyć dźwignię regulacji prędkości obrotowej silnika trzecią linką z uchwytem sterowania i problem rozwiązany. Jest to mniemanie zupełnie błędne — zastosowanie zwykłej trzeciej linki nigdy nie da pożądanego efektu, a jej użycie, oddziałując na równowagę modelu, może dać jeden skutek — zakłócenie lotu, niekiedy bardzo poważne. Jak dotąd znane jest tylko jedno urządzenie, które pozwala na w pełni prawidłowe użycie silnika wielozakresowego. Urządzenie to, które można nazwać mechanizmem z pływającym orczykiem, też

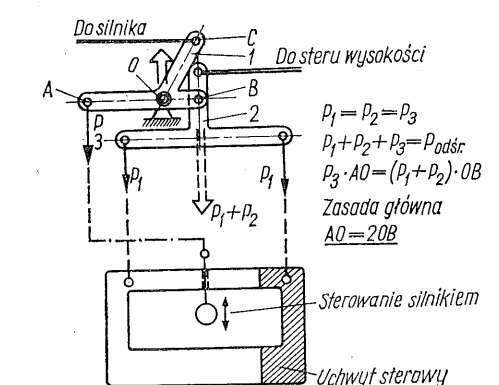
stosuje trzecią linkę, lecz oparte jest na zasadzie stałego zrównoważenia sił we wszystkich trzech linkach.

Działanie mechanizmu wyjaśnia rysunek 6-15. Mechanizm składa się z dwóch orczyków — różnicowego orczyka 1 o nierównych ramionach, który służy do regulowania obrotów silnika, oraz normalnego orczyka 2 zawieszonego wahliwie na krótszym ramieniu orczyka 1, służącego do sterowania sterem wysokości. Do kadłuba modelu zamocowany jest obrotowo (punkt O) tylko różnicowy orczyk 1, natomiast zamocowanie orczyka 2 (punkt B) waha się (pływa) wraz z całym orczykiem przy ruchach orczyka 1.

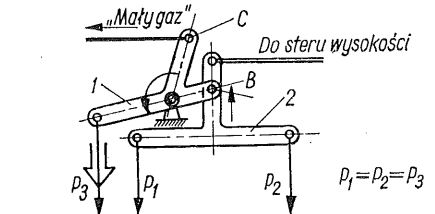


6-14. Proporcje najprostszego układu sterowania

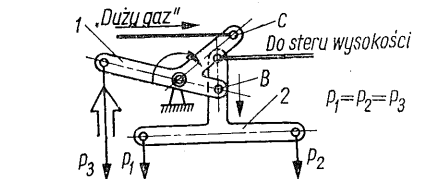
a — Położenie „średniego gazu”



b — Położenie „małego gazu”



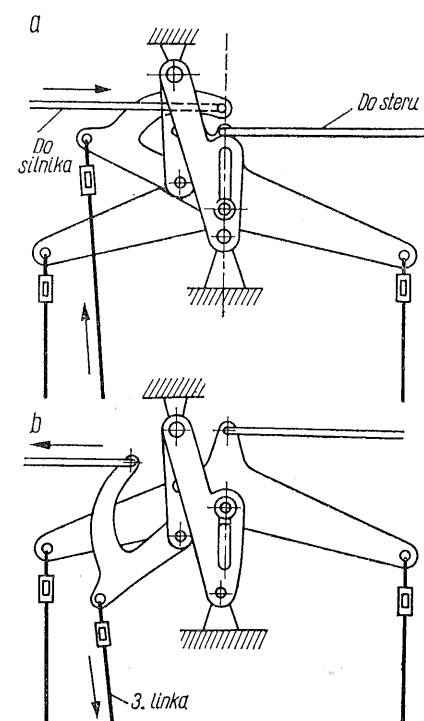
c — Położenie „dużego gazu”



6-15. Zasada działania układu sterowania z „pływającym orczykiem” do równoczesnego sterowania sterem i silnikiem

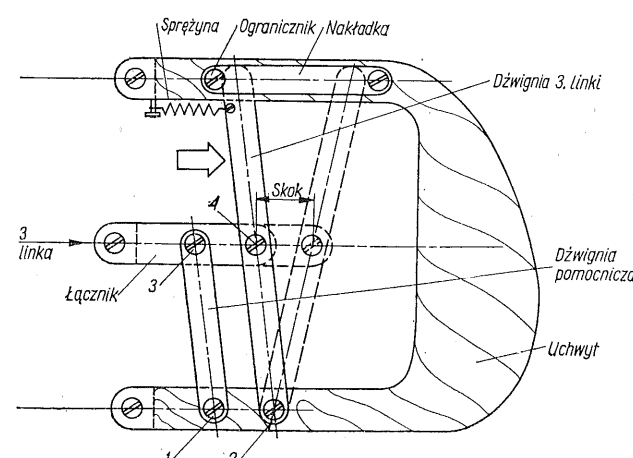
Przez pociągnięcie trzeciej linki, np. w kierunku do wnętrza kręgu (rys. 6-15b), powodujemy obrót orczyka 1 w kierunku strzałki, a ramię C przedstawia gaźnik silnika w położenie „małego gazu”. Jednocześnie punkt B, a wraz z nim orczyk przesuwają się w kierunku na zewnątrz i napięcie w linie pozostaje niezmienione. Przy zwolnieniu trzeciej linki mechanizm reaguje odwrotnie, wyrównując zawsze napięcie wszystkich trzech linek. Dzięki temu sterowanie silnika jest płynne przy pełnym wyczuciu regulacji.

Siłę dośrodkową przenosi całkowicie dźwignia 3 na sztywną podstawę mechanizmu 4 przykręconą do konstrukcji modelu, zaś prowadzenie osi 5 w szczelinie 6 zapobiega wzdłużnym ruchom orczyka 2. Poza tym zasada działania pozostaje taka sama jak opisana poprzednio. Dla większej przejrzystości na rysunku 6-17 pokazano mechanizm



6-16.

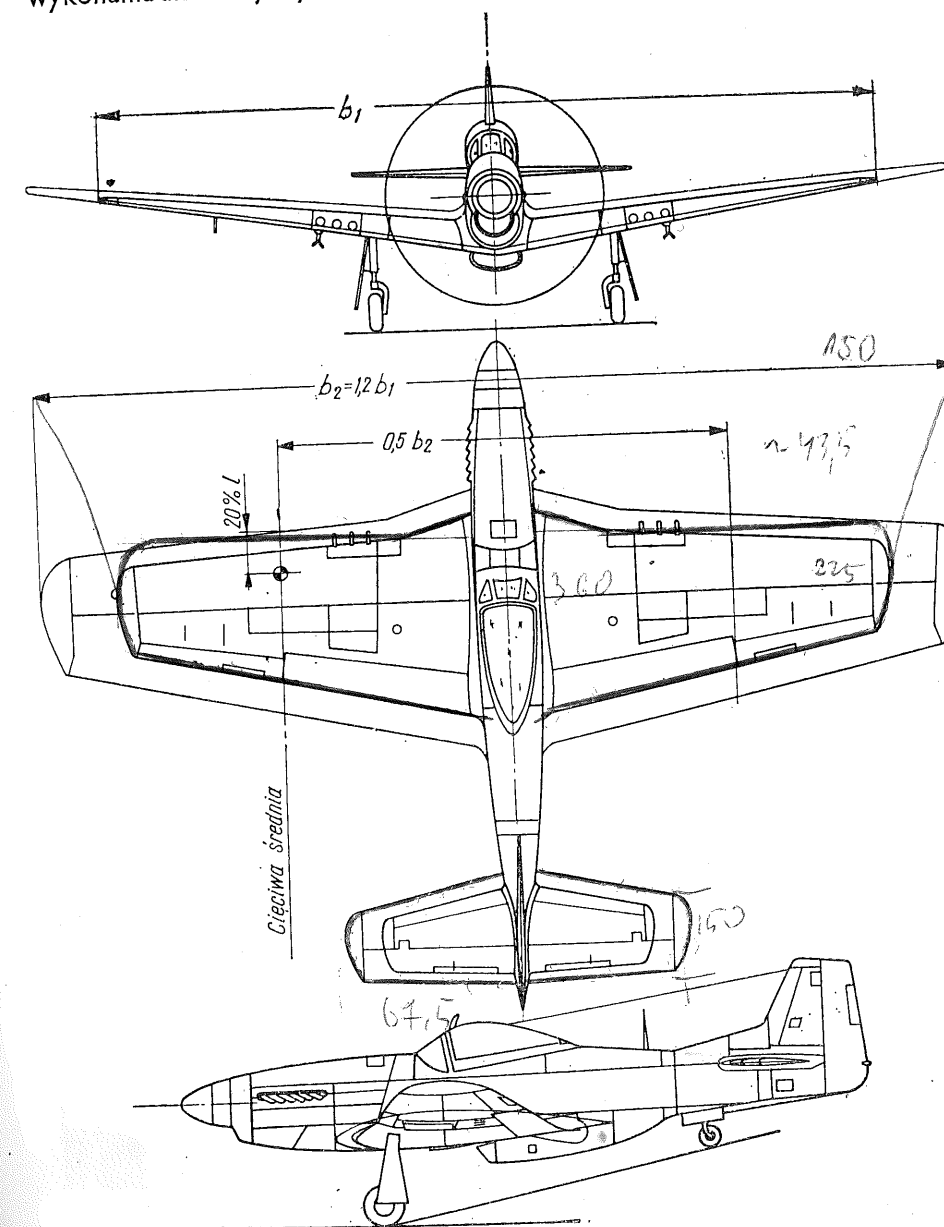
Ulepszony mechanizm układu sterowania z „pływającym orczykiem”



124

Zgodnie z danymi tablicy 6-1, modele zdolne do wykonania akrobacji wyróżniają się dużą powierzch-

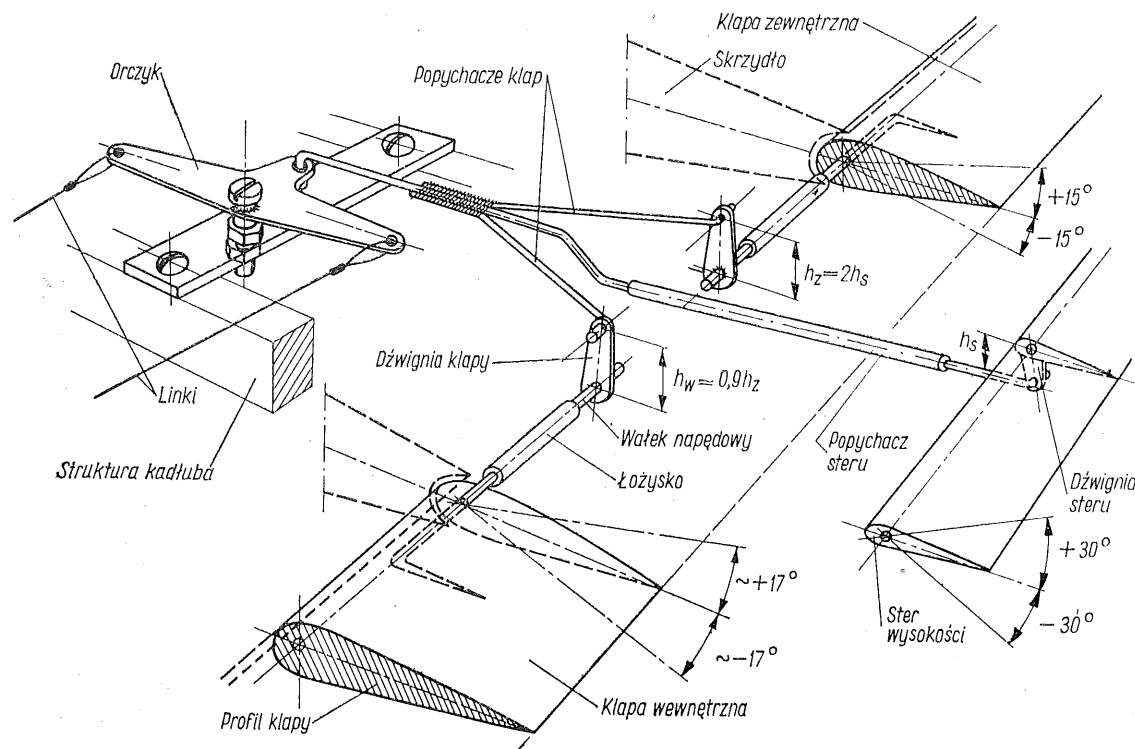
Z tablicy 6-1 wynika, że powierzchnia skrzydła powinna wynosić 16 dm^2 , a ciężar — 500 G. Taką powierzchnię osiągniemy przy rozpiętości 980 mm. Odpowiadającą temu długość kadłuba wynosiłaby 800 mm. Wykonanie tak dużego odpowiednio lekkiego modelu jest niemożliwe — dlatego musimy zastosować pewną przeróbkę, polegającą na sztucznym powiększeniu powierzchni nośnej. Praktycznie sprowadza się to do tego, że powiększamy rozmiary płaszczyzn nośnych około 1,2 raza, pozostawiając rozmiary kadłuba bez zmian. Uzyskujemy w ten sposób około półtorakrotny wzrost powierzchni. Dla naszego modelu o powierzchni powiększonych skrzydeł 16 dm^2 , (po zastosowaniu tego zabiegu) długość kadłuba wyniesie tylko



6-19.

Przystosowanie sylwetki samolotu MUSTANG do wymagań pełnej akrobacji na uwiezi

660 mm, kadłub będzie znacznie mniejszy, a więc lżejszy. Nowe proporcje samolotu (po powiększeniu skrzydeł i statecznika poziomego) naniesione są na rysunku linią zewnętrzną. Stosując taki zabieg oraz wyjątkowo lekką i prostą konstrukcję, można — aczkolwiek z wielkim trudem — osiągnąć wymagany ciężar. Użycie balsy jest konieczne. Do skrzydła stosuje się symetryczny profil NACA-0015 podany w rozdziale 15. Należy pamiętać o właściwym położeniu środka ciężkości (tabl. 6-3).



6-20. Sprężony układ sterowania kłapami dla modelu akrobacyjnego

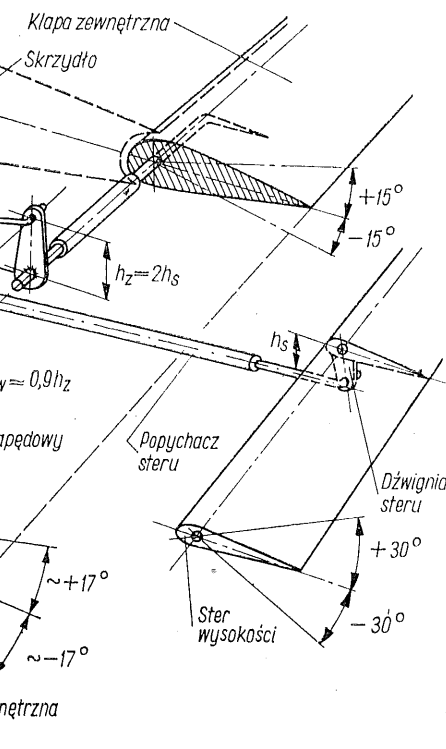
W celu wywołania większej siły nośnej i osiągnięcia bardziej zwartych figur akrobacyjnych sprzęga się bardzo często normalny mechanizm sterujący z kłapami skrzydłowymi w ten sposób, aby wychyleniom steru wysokości np. w górę towarzyszyło wychylenie kłap w dół i odwrotnie. Układ taki pokazany jest na rysunku 6-20.

Warto zwrócić uwagę, że katowe wychylenie kłap powinno być o połowę mniejsze niż dla steru, co osiąga się przez odpowiedni dobór długości dźwigni napędowych — kłap i steru. Poza tym w układzie przedstawionym na rysunku 6-20 kłapa wewnętrzna wychyla się nieco więcej niż zewnętrzna, dając większy przyrost siły nośnej na wewnętrznym skrzydle i poprawiając tym samym poprzeczną stateczność w trakcie wykonywania akrobacji. Efekt ten uzyskuje się dzięki temu, że dźwignia napędowa kłapy wewnętrznej jest nieco krótsza niż przy kłapie zewnętrznej. Oczywiście, przy takim układzie kłapy wychylają się do dołu i do góry, pracując symetrycznie zarówno w locie normalnym, jak i odwróconym. Klasyczne kłapy wyporowe stosowane w lotnictwie wychylają się na ogół tylko do dołu.

Konstrukcja modeli na uwięzi

Konstruując model na uwięzi postępujemy podobnie, jak w przypadku konstrukcji modelu swobodnie latającego, jedyny nowy element to układ sterujący.

Rozwiązania konstrukcyjne również niewiele będą się różniły od konstrukcji modeli swobodnie latających. Podane w poprzednim rozdziale przykłady



typowych rozwiązań mogą być z powodzeniem wykorzystane do budowy modeli na uwięzi, z tym że konstrukcja musi być ogólnie wzmocniona. Trzeba bowiem pamiętać, że prędkość lotu modeli na uwięzi jest duża i że modele są narażone na znaczne przeciążenia (np. w czasie wyrwania z lotu nurkowego), które mogą kilkakrotnie prze-



6-21. Model — gigant o ciężarze 7 kG. Problemy konstrukcyjne są tutaj bardzo skomplikowane (foto autora)

wyższać ciężar modelu. W związku z tym należy zaprojektować bardziej trwałą konstrukcję skrzydeł niż w modelu swobodnie latającym.

Należy uwzględnić też duże obciążenia, jakie mogą zaistnieć przy lądowaniu. Gwałtowny wstrząs podczas nieudanego lądowania przenosi się poprzez podwozie i jego zamocowanie na pozostałe części konstrukcji i może je zniszczyć.

Siła odśrodkowa działająca na model lecący z maksymalną prędkością również jest bardzo znaczna. Na przykład na model lecący z prędkością 100 km/h przy zastosowaniu linek 15-metrowych działa siła odśrodkowa równa przeszło 5-krotnemu ciężarowi. Podczas lotu z prędkością 120 km/h przeciążenie osiągnie już przeszło 7-krotną wartość ciężaru. To nie bagatela, jeśli zważy się, że modele na uwięzi są na ogół bardzo ciężkie. Projektując duży 4-silnikowy model samolotu komunikacyjnego o ciężarze kilku kilogramów (rys. 6-21) należy się liczyć z tym, że trzeba będzie utrzymać w ręku uchwyt sterowy obciążony siłą około kilkunastu kG, nie mówiąc już o tym, że siła ta będzie działać na zamocowanie mechanizmu sterującego (orczyka), które musi być bardzo mocne. Siła odśrodkowa będzie się również starała rozerwać łączone części modelu, np. skrzydła.

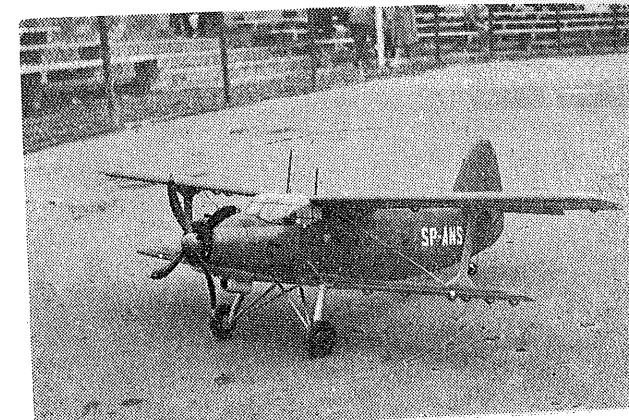
Jak więc widzimy, modele na uwięzi są bardziej obciążone od modeli swobodnych. Działają na nie znaczne obciążenia, podobnie jak na samolot prawdziwy.

Z tego punktu widzenia omówimy niektóre szczególne zagadnienia konstrukcyjne.

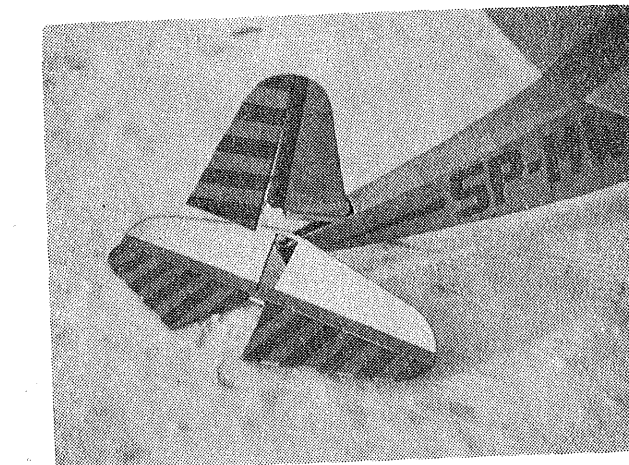
Ogólna koncepcja konstrukcyjna

Ogólne rozwiązanie konstrukcji zależy przede wszystkim od rozmiarów modelu oraz materiałowych i wykonawczych możliwości modelarza. Ogólne zasady są takie: małe, lekkie modeliki (rys. 6-22) z silnikami do 1,5 cm³ wykonuje się bardzo często jako nierozbieralne, co upraszcza konstrukcję i zmniejsza jej ciężar. Do małych modeli stosuje się lekkie konstrukcje skorupowe z balsy. Można również stosować konstrukcje klasyczne lub mieszane, zależnie od możliwości, jakie daje wybrany typ samolotu. W dużych i ciężkich modelach konstrukcja nierozbieralna jest kłopotliwa, są trudności w transporcie i kłopoty z naprawą uszkodzonego modelu. W tym przypadku należałoby zastosować odemowane skrzydła lub nawet odemowane stateczniki (rys. 6-23). Podział skrzydeł należałoby zaprojektować w miejscach podziału skrzydeł w samolocie. Rozwiązanie zależy oczywiście od układu samolotu.

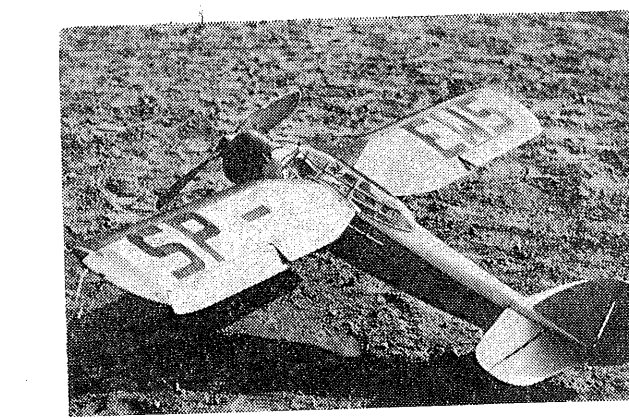
Jak z tego wynika, mimo że teoretycznie każdy samolot może być wykonany jako model na uwięzi, trzeba tak dobierać typ samolotu, aby był on odpowiedni do naszych możliwości materiałowych i, co bardzo ważne, wykonawczych. Nieraz się bowiem zdarza, że niedoświadczony modelarz uwikła się w budowę skomplikowanego modelu i nie jest w stanie skończyć pracy. Kilka zamieszczonych fotografii orientuje w możliwościach i stopniach trudności budowy miniaturowych samolotów na uwięzi (rys. 6-24 do 6-26).



6-22. Nierozbieralny model samolotu AN-2 (foto autora)



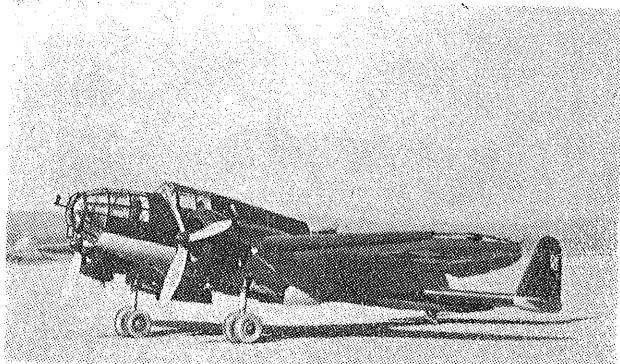
6-23. Odemowane stateczniki w modelu RWD-5 (foto autora)



6-24. MEWA na uwięzi — prosta konstrukcja, wszystkie części odemowane (foto autora)



6-25. Dwupłatowy PWS-26 stwarza już większe trudności, głównie w zamocowaniu i usztywnieniu płatów (foto autora)



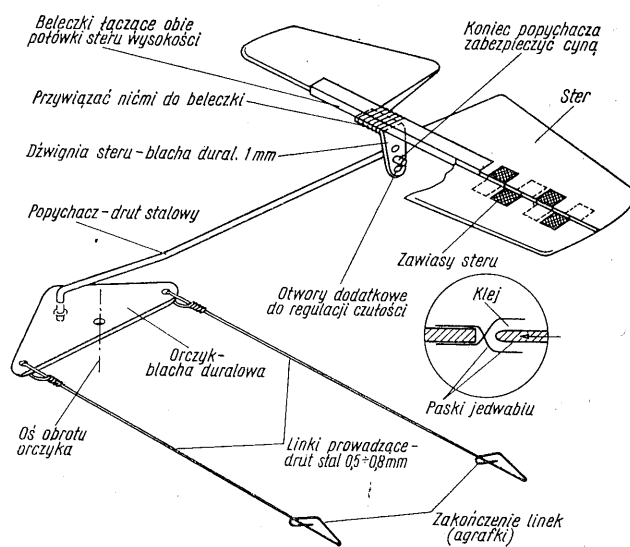
6-26. Dwusilnikowy model ŁOSIA — jeden z najtrudniejszych do wykonania.

Pełna mechanizacja — chowane w locie podwozie i kłapy, sterowane silniki, skorupowa konstrukcja (foto autora)

Mechanizmy sterowania, konstrukcja sterów

Zwyczajny układ sterowania modelu na uwięzi składa się z orczyka, jego zamocowania i napędu oraz popychacza i steru wraz z dźwignią sterową. Zależnie od obciążenia, to jest od ciężaru i od prędkości modelu, będziemy konstruowali układ sterowy w mniej lub bardziej skomplikowany sposób.

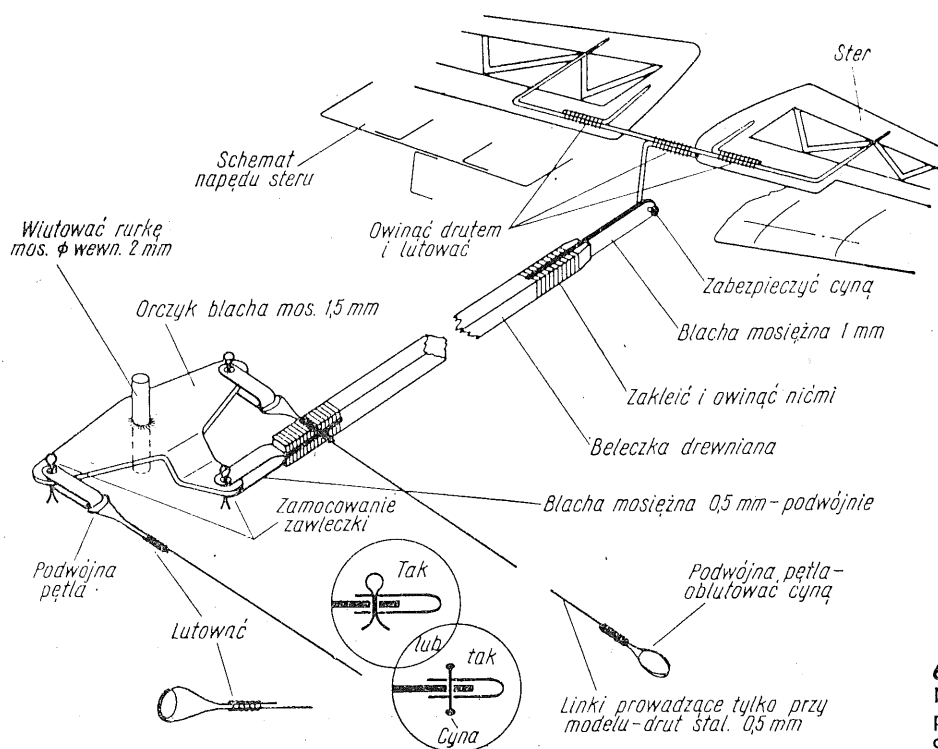
Do modelu o pojemności silnika nie przewyższającej $2,5 \text{ cm}^3$ można stosować rozwiązanie uproszczone, pokazane na rysunku 6-27. Na rysunku tym pokazano również sposób wykonania zawiasów sterowych z pasków jedwabiu lub nylonu. Paski przyklejamy naprzemiennie: pierwszy pasek do wierzchniej powierzchni statecznika i spodniej steru, następny do spodu statecznika i na wierzch steru itp. Dla ułatwienia można przed wycięciem



6-27. Uproszczona konstrukcja mechanizmu sterowania do niedużych i lekkich modeli

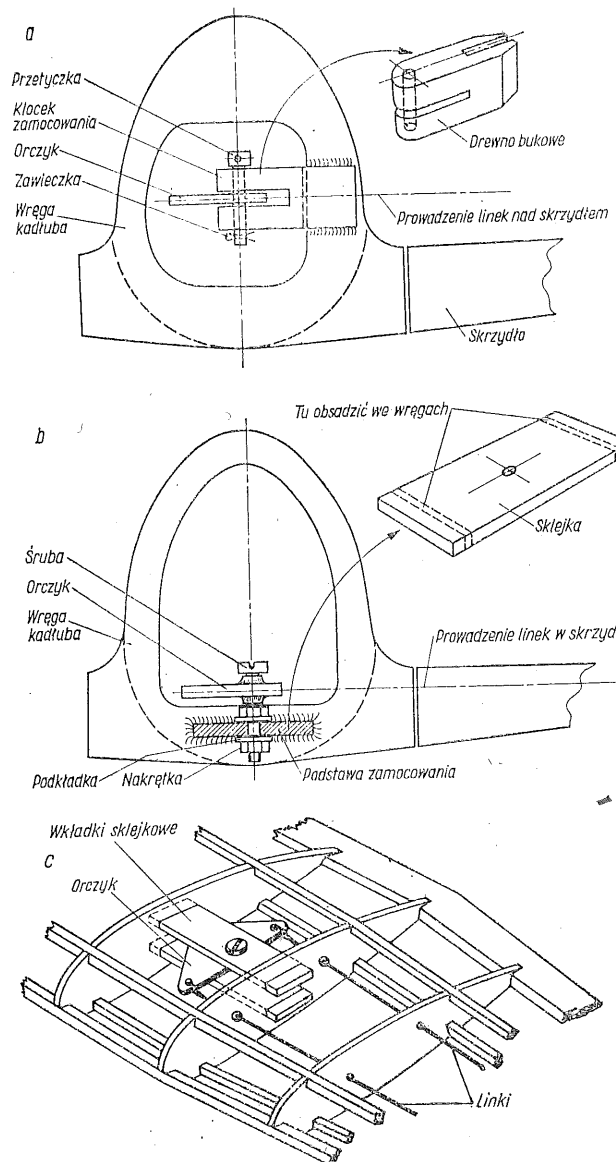
pasków pocellonować tkaninę, co ją usztywni i zabezpieczy przed wyciąganiem się. Kleimy klejem acetonowym. Po zamalowaniu wykonane w ten sposób zawiasy są prawie niewidoczne.

Do dużych i ciężkich modeli z silnikami powyżej $2,5 \text{ cm}^3$ trzeba ze względów bezpieczeństwa stosować inne rozwiązanie układu sterowania, pokazane na rysunku 6-28. Rozwiązanie to różni się od poprzedniego tym, że jest przystosowane do pracy pod dużym obciążeniem. Wzmocnione jest ułożyskowanie orczyka, zamocowanie linek zabezpieczone od przetarcia, a popychacz usztywniony. Mocniejszy napęd steru gwarantuje bezpieczną i długotrwałą pracę układu.



6-28. Mechanizm sterowania przewidziany na większe obciążenie

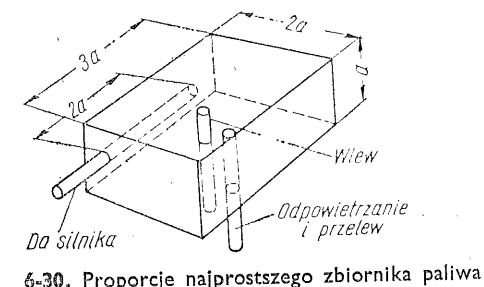
Bardzo ważną rolę odgrywa zamocowanie orczyka w modelu. Ono bowiem przenosi całą siłę naciągu linek (rys. 6-29). Są dwie zasadnicze możliwości: orczyk zamocowany w kadłubie lub w skrzydle modelu.



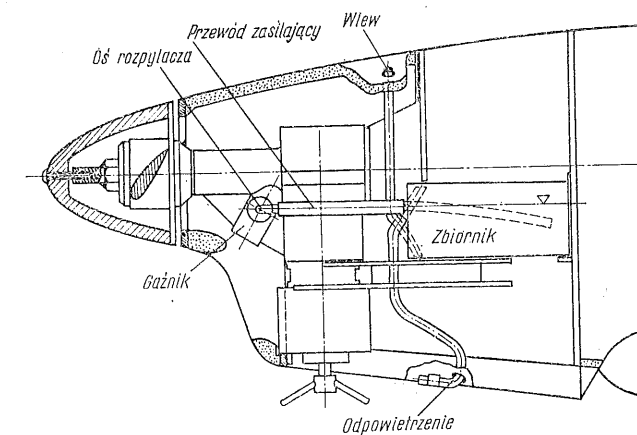
6-29. Zamocowanie orczyka
a, b — w kadłubie, c — w skrzydle

Zasilanie modeli na uwięzi, konstrukcja i umieszczanie zbiorników paliwa

Zbiornik modelu na uwięzi (rys. 6-30) powinien zapewnić silnikowi równomierną i dostatecznie długotrwałą pracę. Zbiornik należy umieścić w modelu tak, aby nie wystawał zbyt na zewnątrz kregu, poza oś gaźnika (w widoku z góry), oraz tak, aby nie wystawał zbyt nad poziom gaźnika, gdy patrzymy na model z boku (rys. 6-31). Rurkę zasilałą łączymy z silnikiem przewodem plastikowym. Jeśli przewody wlewowy i odpowietrzający wystają spod maski modelu, na zewnątrz, należy je skierować do przodu — „pod prąd” powietrza, aby uniknąć wysysania paliwa w czasie lotu.



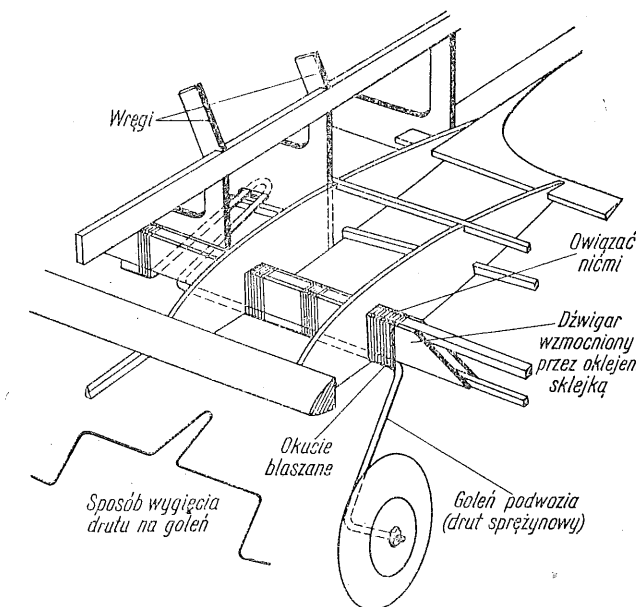
6-30. Proporcje najprostszego zbiornika paliwa



6-31. Właściwe umieszczenie zbiornika w kadłubie modelu na uwięzi

Podwozie modeli na uwięzi

Podwozia modeli na uwięzi należy konstruować w podobny sposób jak modeli swobodnych, z tym tylko, że konstrukcja — zależnie od ciężaru modelu — powinna być odpowiednio wzmocniona. Przy modelach dolnopłatowych możemy spotkać się z koniecznością umieszczenia podwozia pod skrzydłami. Pamiętać trzeba wówczas, że siły występujące podczas lądowania przenoszą się na skrzydło, usiłując je złamać. Dlatego należy wzmoc-



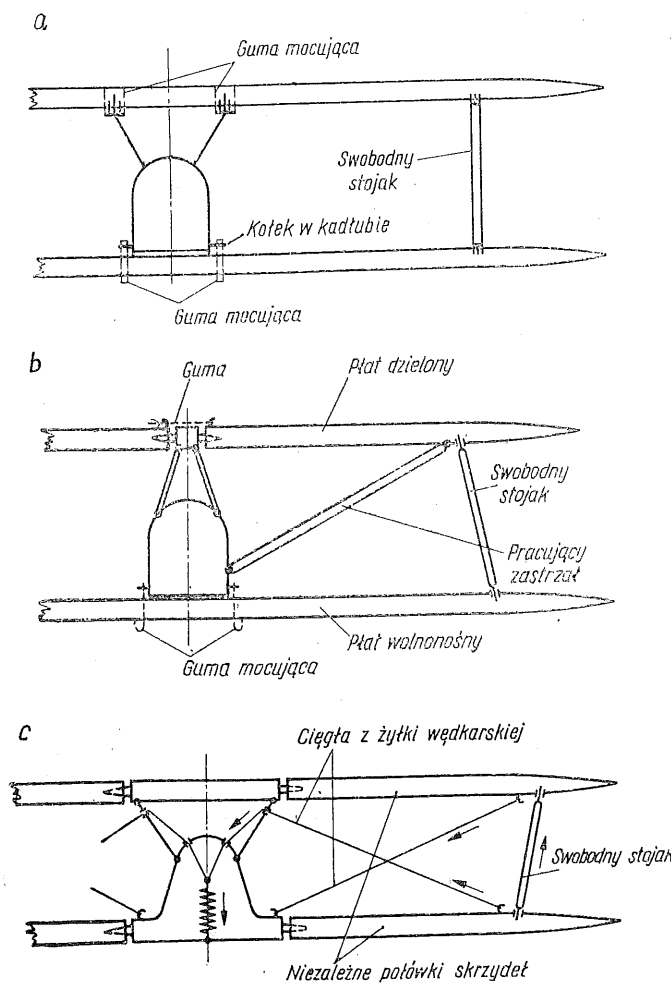
6-32. Wzmocnione zamocowanie podwozia podskrzydłowego

nić konstrukcję skrzydła na odcinku od kadłuba do zamocowania podwozia. Przykładowe rozwiązanie konstrukcyjne pokazane jest na rysunku 6-32. Golenie podwozia można profilować zależnie od potrzeb. Pożądane jest, aby były one zaopatrzone w amortyzatory.

Konstrukcja modeli dwupłatowych

Wiele ciekawych problemów konstrukcyjnych możemy napotkać przy opracowywaniu modeli dwupłatowych. Kłopotliwym zagadnieniem jest zamocowanie rozpórek i zastrzałów międzyskrzydłowych oraz linek usztywniających. Problem ten można rozwiązać kilkoma sposobami (rys. 6-33):

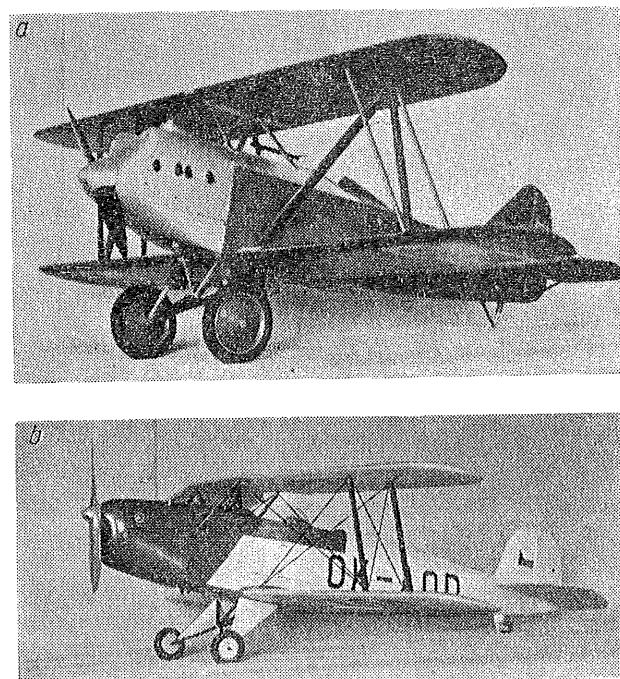
- wykonać dwa skrzydła jako wolnonośne, a zastrzały umieścić między nimi tylko dla dekoracji, wykorzystując sprężystość płatów;
- jeżeli samolot ma sztywny zastrzał wspierający górny płat, jak np. model samolotu BARTEL pokazany na rysunku 6-34, można rozwiązać zamocowanie górnego płata jako zwykłe zastrzałowe, dolny płat jako wolnonośny, a rozpórki międzyskrzydłowe umieścić tylko dla dekoracji, (zgodnie ze schematem na rys. 6-33b);
- można wreszcie wykorzystać linki usztywniające do zamocowania obu płatów; schemat takiego elastycznego zamocowania pokazany jest



6-33. Zamocowanie płatów w modelu dwupłatowym
a — wolnonośne, b — za pomocą zastrzału wspierającego, c — na cięgłach elastycznych

na rysunku 6-33c; został on praktycznie zrealizowany przez autora w konstrukcji modelu samolotu C-104 (rys. 6-34b); w przypadku uderzenia o ziemię skrzydła odpadną bez szkody dla zamocowań;

- w niedużych modelach można skleić lub przykręcić śrubami skrzydła, zastrzały oraz linki usztywniające w jedną zwartą całość.



6-34. Przykłady rozwiązań modeli dwupłatowych
a — BARTEL BM-4 — wg schematu „b”, b — C-104 wg schematu „c”
(foto autora)

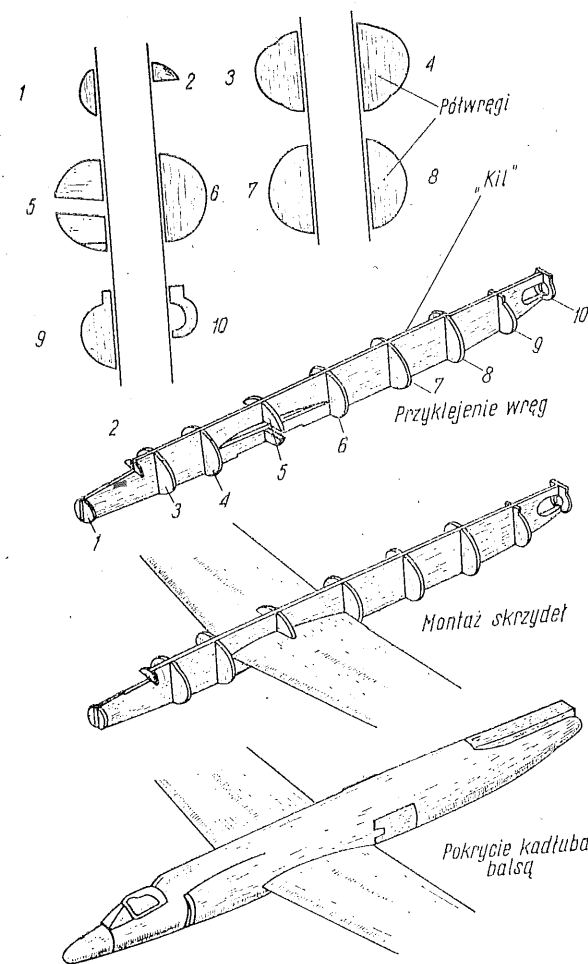
Skorupowe konstrukcje balsowe

Jeżeli dysponujemy balsą, a chcemy zbudować model o opływowych kształtach, najlepiej zrealizować to metodą tzw. kilową (rys. 6-35). Metodę tę stosuje się przy budowie kadłubów o przekroju owalnym. Zasada jest następująca. Z deseczki balsowej wycina się obrys kadłuba w widoku z boku lub z góry (lepiej, bo węższy), stanowiący tzw. kil. Do kila przykleja się wręgi, a następnie pokrywa całość deseczkami balsowymi metodą klepkową. Kil można wyżyrować — będzie on wówczas tworzył coś w rodzaju centralnej kratownicy.

Mechanizacja modeli na uwięzi

Jak już wspomniano, system sterowania za pomocą linek pozwala nie tylko na bezpośrednie pilotowanie modelu i sterowanie pracy silnika, ale stwarza dogodne możliwości dalszej mechanizacji i pełnego sterowania pozostałymi funkcjami miniatury samolotu. Do najważniejszych mechanizmów (oprócz pilotażowych) stosowanych w nowoczesnych samolotach należą:

- mechanizmy chowania podwozia,
- hamulce kół,
- mechanizmy obsługujące dodatkowe urządzenia nośne na skrzydle, jak klapy, skrzela, przerwy, hamulce aerodynamiczne itp.

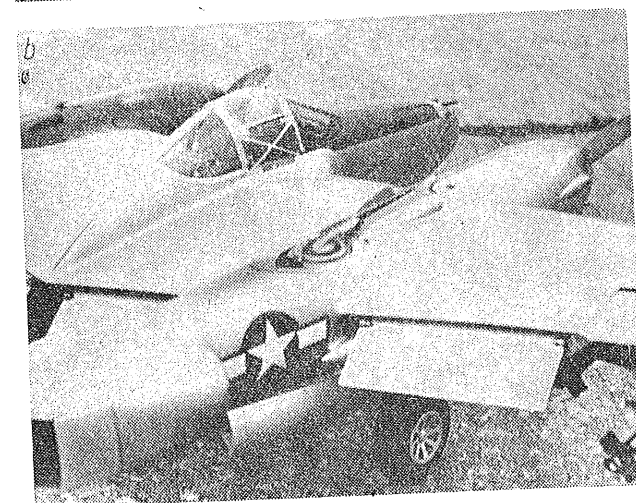
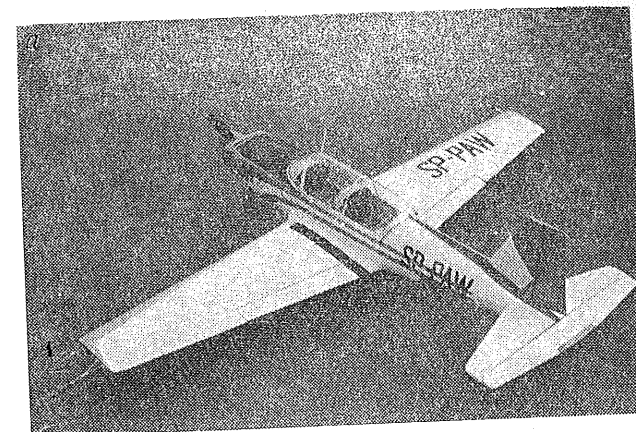


6-35. Zasada wykonywania konstrukcji skorupowej tzw. metodą „kilową”

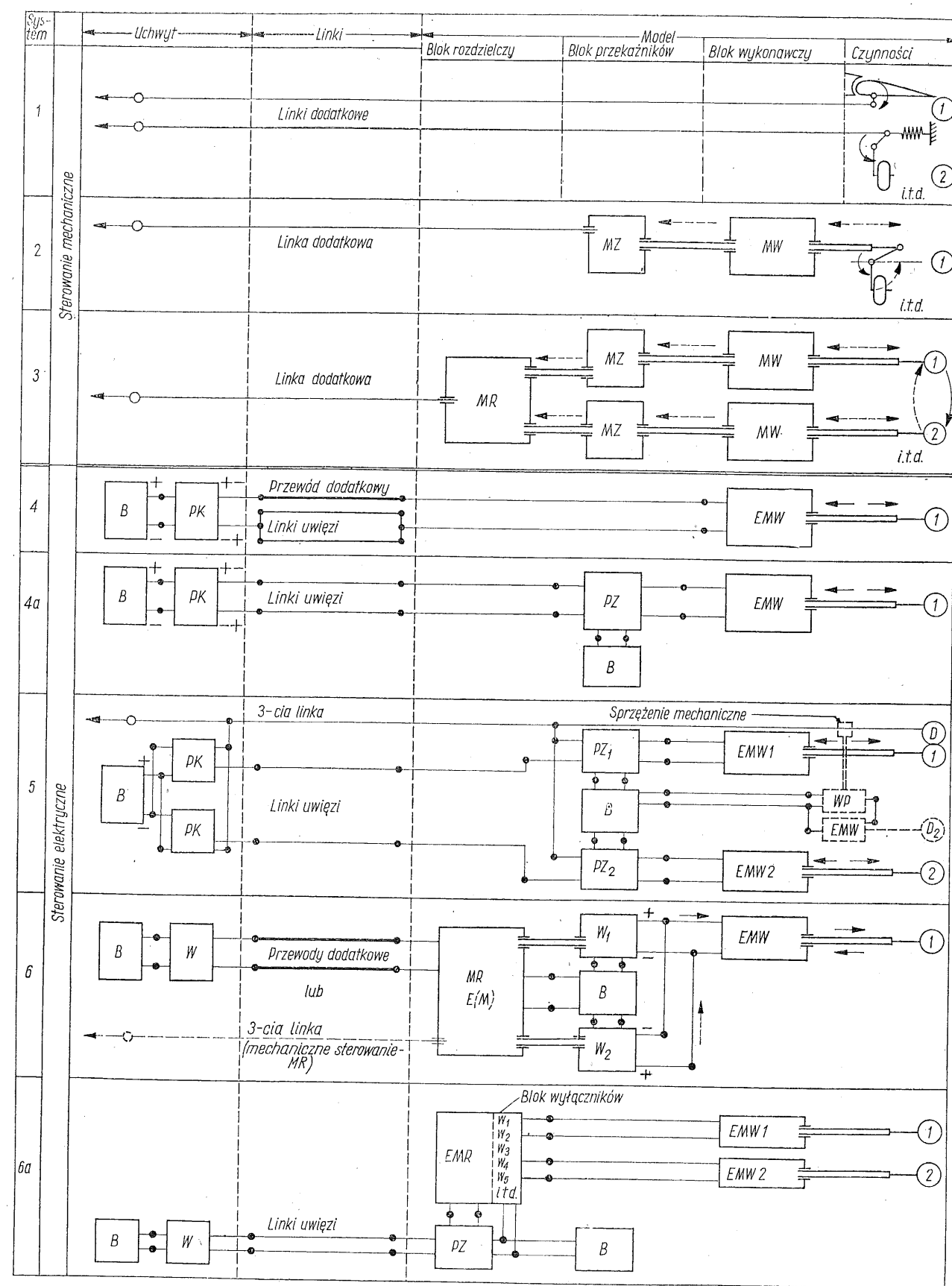
- mechanizmy związane z uzbrojeniem, tj. wyrzutniki bomb, broń pokładowa, obrotowe wieżyczki strzeleckie itp.,
- mechanizmy związane z uruchamianiem instalacji oświetleniowej i sygnalizacyjnej, jak oświetlenie kabin, światła pozycyjne, sygnalizacyjne, reflektory itp.,
- inne mechanizmy związane z obsługą samolotu w locie, np. wyrzucenie ładunków, desantu, odrzucanie zbiorników, wypuszczanie spadochronów hamujących itp.

Wszystkie wymienione mechanizmy mogą być sterowane odległościowo. Oczywiście rzadko się zdarza, aby zachodziła konieczność sterowania i obsługi w locie tak wielu urządzeń. Najczęściej nawet przy bardzo skomplikowanych modelach (patrz rys. 6-36), zakres mechanizacji ogranicza się do sterowania podwozia i obsługi klap. Często też niektóre czynności mogą być sprzężone z innymi. Hamulce kół przeważnie sprzęga się ze sterem wysokości, tak że zahamowanie kół następuje przy pełnym wychyleniu steru, klapy mogą być sprzęgnięte z mechanizmem wypuszczenia podwozia, skrzela z klapami itd.

Mechanizacja miniatury samolotów to bardzo obszerna dziedzina — możemy więc jedynie wskazać niektóre możliwości i podać niezbędne wskazówki.



6-36. Zmechanizowane modele na uwięzi
a — PZL M4 TARPAN — podwozie, klapy sprzężone z silnikiem (mały gaz — wychylony), oświetlenie, b — P-37 LIGHTNING — podwozie, klapy, wyrzutnie rakiet i bomb, oświetlenie, c — AVRO LANCASTER — podwozie, wyrzutnie bomb
(foto autora)



6-37. Mechanizacja modeli na uwięzi — systemy mechaniczne i elektryczne

B — bateria, W — wyłącznik, PK — przełącznik krzyżowy (zmiana biegunowości), MR — mechanizm rozdzielczy, MZ — mechanizm wyzwalający (zwalnający), PZ — przełącznik elektromagnetyczny, 1, 2 itd. — czynności sterowania, EMR — elektryczny mechanizm rozdzielczy, MW — mechaniczny mechanizm wykonawczy, EMW — elektryczny mechanizm wykonawczy, WP — wyłącznik pośredni

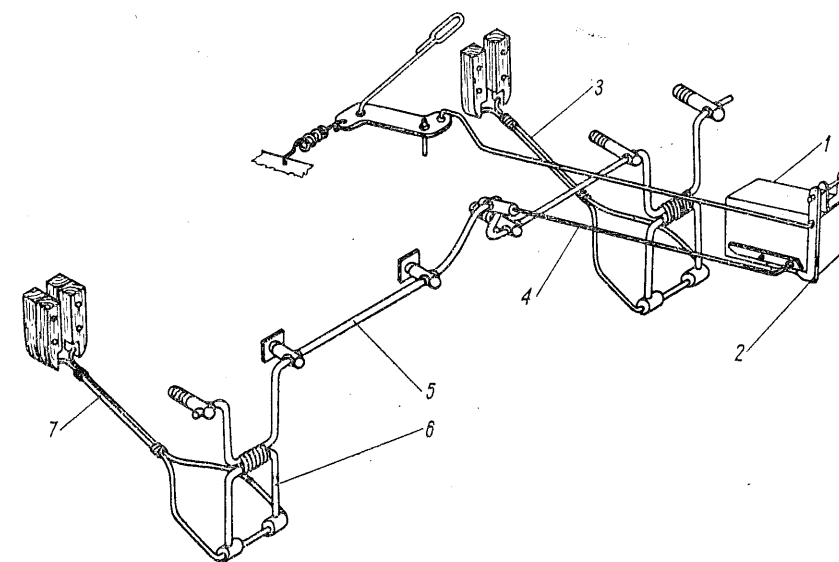
Stosowane systemy mechanizmów

Dodatkowymi urządzeniami umieszczonymi w modelu można sterować mechanicznie (za pomocą dodatkowych linek) lub elektrycznie, przy czym energia elektryczna może być przesyłana albo dodatkowymi przewodami, albo przy wykorzystaniu linek uwięzi.

Najczęściej stosowane systemy przedstawione są schematycznie na rysunku 6-37.

Schemat 1 to najprostszy system mechaniczny, ale i najbardziej prymitywny. Dodatkowe linki bezpośrednio wykorzystane są do uruchamiania mechanizmów w modelu, np. do chowania podwozia, wychylania klap itp. Zasadniczą wadą tego systemu jest to, że cała, na ogół duża, siła potrzebna do wykonania czynności przenosi się na model i może poważnie zakłócić jego równowagę. Z tej przyczyny metoda ta może być stosowana tylko do dużych, ciężkich modeli, przy których siły odśrodkowe są bardzo duże w stosunku do sił w linie dodatkowej. System ten był między innymi wypróbowany na czterosilnikowym modelu samolotu Ił-18; dodatkowe linki służyły w nim do chowania podwozia i wychylania klap.

Schemat 2 eliminuje duże siły w linkach dodatkowych. Jest on najpopularniejszy spośród stosowanych systemów mechanicznych. Zasadniczą czynność wykonuje tu bowiem specjalny mechanizm wykonawczy, zaś linka służy jedynie do jego uruchomienia. Stosuje się w tym celu dodatkowe mechanizmy zwalniające. Są to na ogół proste urządzenia zapadkowe. Według tego systemu działa mechanizm chowania podwozia przedstawiony na rysunku 6-38.



6-38. Układ chowania podwozia (model samolotu DOUGLAS DC-3) z mechanizmem wykonawczym, uruchamiany mechanicznie za pomocą dodatkowej linki
1 — sprężynowy mechanizm wykonawczy, 2 — mechanizm zwalniający, 3 — napęd mechanizmu zwalniającego, 4 — popychacz wykonawczy, 5 — skrętny drążek napędowy, 6 — łamane golenie przednie, 7 — zastrzał koła

System 3 to dalsze rozwinięcie systemu 2. Pozwala on na obsługiwanie wielu czynności jedną linką, z tą różnicą, że sterowanie nią nie może się odbywać dowolnie (wybiórczo), ale musi następować w odpowiednio zaprogramowanej kolejności. Dodatkowym elementem jest mechanizm programowy. Składa się on zazwyczaj z prostego wybieraka i układu krzywkowego napędzającego szereg mechanizmów zwalniających, współpracujących z odpowiednimi mechanizmami wykonawczymi. Warto

zaznaczyć, że przy zastosowaniu takiego systemu wykonanie tej samej czynności w odwrotnym kierunku też musi nastąpić według programu, na przykład:

- 1 cykl { 1 — chowanie podwozia
2 — zamknięcie klap
3 — } czynności dodatkowe, jak zrzuty itp.
4 —
5 —
6 — wypuszczenie podwozia
7 — otwarcie klap
- 2 cykl { 1 — chowanie podwozia
2 — zamknięcie klap itp.

W przypadku nagłej konieczności ponownego wypuszczenia przed chwilą schowanego podłoża, trzeba wykonać wszystkie następujące po tym czynności, co mogłoby trwać zbyt długo.

Można się przed tym zabezpieczyć, programując po schowaniu podwozia ponowne jego wypuszczenie i schowanie. W ten sposób upewniwszy się, że wszystko po starcie jest w porządku, można przystąpić do wykonywania dalszych części programu. System 4 umożliwia elektryczne, wybiórcze sterowanie jednym mechanizmem wykonawczym (dwukierunkowe wykonywanie jednej czynności).

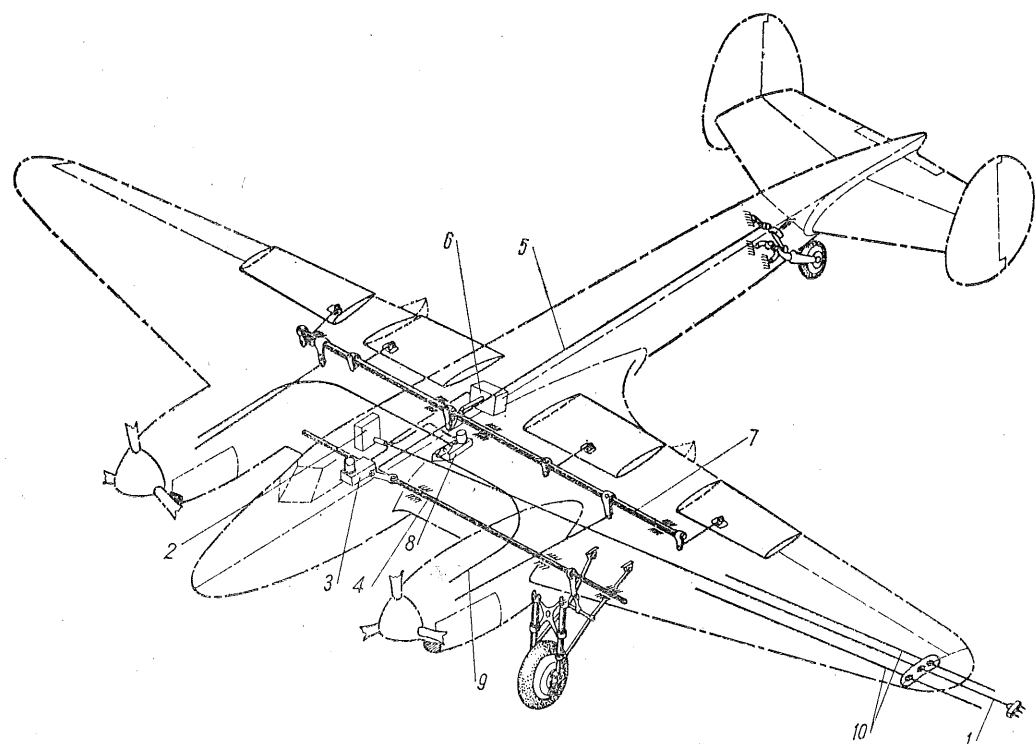
Zasada jest bardzo prosta. W modelu zamontowany jest zwykły progresywny elektryczny mechanizm wykonawczy (silnik z przekładnią), uruchamiany przez pilota za pomocą przełącznika umieszczonego na uchwycie sterowym. Wykonanie czynności w odwrotnym kierunku możliwe jest przez zmianę biegunowości. Przełącznik powinien mieć więc 3 położenia (+ —, neutrum, — +) dające możli-

wość swobodnego wyboru kierunku pracy mechanizmu. Energia elektryczna może być przekazywana od pilota do modelu za pośrednictwem dodatkowych dwóch przewodów izolowanych lub jednego przewodu i dwóch linek — jak na schemacie.

Ze względu na duży opór elektryczny cienkich przewodów (przewody muszą być cienkie ze względu na opór aerodynamiczny) napięcie początkowe musi być duże i to jest wadą tego syste-

mu (uszkodzenia w przypadku zwarcia). Wady tej nie ma odmiana tego systemu oznaczona na rysunku 6-37 symbolem 4a. Linkami przesyłane jest niskie napięcie, które uruchamia przekaźniki umieszczone w modelu, włączające mechanizm wykonawczy zasilany z własnej, pokładowej baterii. System 5 to nic innego jak zdwojenie układu stosowanego w systemie 4a, dzięki czemu możliwe jest wybiórcze sterowanie dwoma czynnościami. Jedyna różnica polega na tym, że energia zasilająca przesyłana jest za pomocą trzeciej linki pracującej w układzie sterowania silnika (pływający orczyk — patrz rys. 6-13).

System 6 to elektryczna odmiana systemu 3. Mechanizm rozdzielczy steruje wyłącznikami (mikrowyłącznikami), uruchamiając mechanizmy wykonawcze według ustalonego programu. Zaletą tego systemu w porównaniu z systemem 3 jest duża szybkość przekazywania sygnałów (np. za pomocą wie-



6-39. Mechanizacja modelu dwusilnikowego samolotu bombowego Pe-2 zrealizowana według systemu 6 (rys. 6-37)
1 — przewód zasilający, 2 — blok rozdzielczy, przekaźniki elektryczne, mechanizm rozdzielczy, 3 — mechanizm wykonawczy układu chowania podwozia, 4 — napęd podwozia głównego (wałek skrętny), 5 — napęd koła ogonowego (linka), 6 — mechanizm wykonawczy układu sterowania kłapami, 7 — drążek skrętny napędu kłap, 8 — mechanizm wykonawczy sterowania silników, 9 — napęd sterowania silników (bowdeny), 10 — linki sterowania głównego (ster wysokości)

lopołożeniowego przełącznika na uchwycie) umożliwiające prawie wybiórcze sterowanie czynnościami. Mechanizm rozdzielczy pracujący w tym systemie może być też sterowany mechanicznie — za pomocą dodatkowej linki.

System 6a to dalsze rozwinięcie systemu 6. Mechanizm rozdzielczy (może być zablokowany z wyłącznikami) włączany jest przekaźnikiem i zasilany z baterii pokładowej podobnie jak w systemie 5. Według tego systemu funkcjonuje mechanizacja modelu samolotu bombowego Pe-3, której schemat podaje rysunek 6-39. Jako mechanizm rozdzielczy wykorzystano tutaj typowy miniaturowy wielokontaktowy stycznik telefoniczny sterowany urządzeniem wybierakowym napędzanym elektrycznie. Układ ten był zaprogramowany następująco:

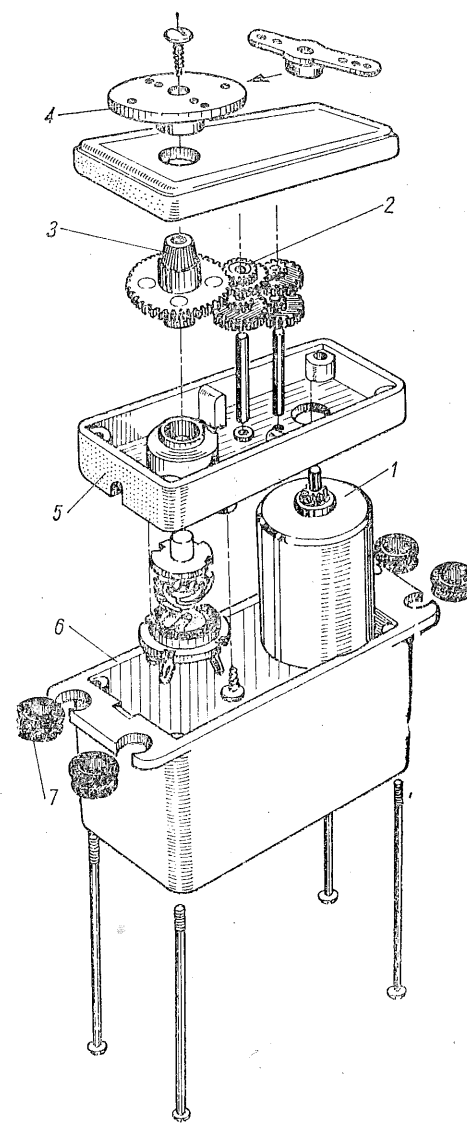
1 — kłapy w dół, 2 — „mały gaz”, 3 — „duży gaz” — start, 4 — zamknięcie kłap, 5 — schowanie podwozia, 6 — wypuszczenie podwozia, 7 — kłapy w dół, 8 — „mały gaz” — lądowanie, 9 — „duży gaz” — start, 10 — zamknięcie kłap, 11 — schowanie podwozia, 12 — wypuszczenie podwozia, 13 — kłapy w dół, 14 — „mały gaz” — lądowanie. 15 — wyłączenie silników, 16 — zamknięcie kłap. Konstrukcję mechanizmu chowania podwozia omawianego modelu pokazano na rysunku 4-32.

Mechanizmy wykonawcze, urządzenia i akcesoria

Mechanizm wykonawczy jest podstawą każdego sterowanego odległościowo urządzenia. W lotnictwie stosuje się urządzenia napędzane mechanicznie (ręcznie), elektrycznie, hydraulicznie lub

pneumatycznie. Spośród nich w lotnictwie miniaturowym największą popularność zdobyły sobie mechanizmy elektryczne i mechaniczne. Mechanizmy tego typu odznaczają się bowiem największą prostotą.

Przeciwny elektryczny mechanizm wykonawczy (rys. 6-40) składa się z precyzyjnego, wysokoobrotowego silniczka elektrycznego sprzęgniętego z przekładnią o odpowiednio dużym położeniu (od 1:250 do 1:2500). Dzięki temu na wyjściu mechanizmu uzyskuje się dużą siłę pociągową (moment obrotowy), rzędu kilku kilogramów, i ruch trwający dostatecznie długo (0,5÷1,5 s). Niektóre mechanizmy elektryczne mogą wchodzić w skład mechanicznego układu wykonującego odpowiednią czynność, np. chowania podwozia (rys. 6-41).



6-40. Elementy typowego elektrycznego mechanizmu wykonawczego
1 — silnik elektryczny, 2 — przekładnia zębata (5-stopniowa), 3 — wał wyjściowy, 4 — dźwignia wykonawcza, 5 — obudowa z łożyskami, 6 — korpus mechanizmu, 7 — gumowe wkładki amortyzujące

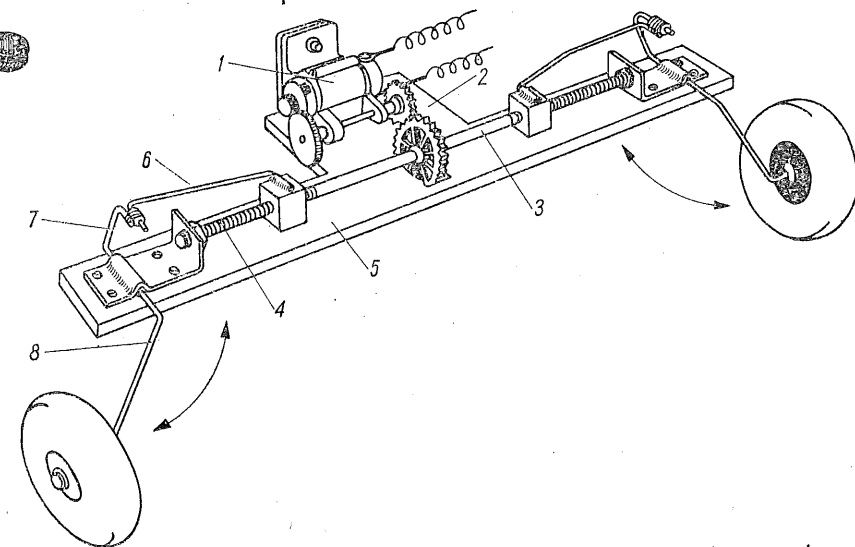
Mechanizmy mechaniczne mogą mieć napęd sprężynowy. Przekładnia jest tutaj stosowana tylko dla spowolnienia ruchu (jak w samowyzwalaczu fotograficznym). Można stosować również mechanizmy z napędem gumowym — mają one wówczas formę odpowiednio wzmocnionych rozdzielników gwiazdowych, takich jak stosowane w najprostszyc formach jednoczynnościowego sterowania zdalnego.

Urządzenia wyzwalające (odpowiednik przekaźnika w urządzeniach elektrycznych) stosowane w sprężynowych i gumowych mechanizmach wykonawczych to przeważnie proste rygle dźwigniowe, umożliwiające wielokrotne zmniejszenie siły potrzebnej do uruchomienia mechanizmu. Zasadę działania takiego mechanizmu wyjaśnia rysunek 6-42. Jeżeli założymy na przykład, że do wykonania czynności (schowania podwozia) potrzebna jest siła 1 kG (rys. 6-42a), to przez zastosowanie najprostszego rygla (rys. 6-42b) możemy ją wyzwoić siłą 10-krotnie mniejszą. Przez odpowiedni dobór przełożeń dźwigni zwalniającej i wyzwalającej można doprowadzić nawet do 100-krotnego zmniejszenia

siły (rys. 6-42d). Przy tak niewielkich siłach mechanizm może być sterowany innym mechanizmem (np. krzywkowym), który przy odpowiednim zaprogramowaniu (ustawieniu krzywek) może rozdzielać wyzwalanie wielu czynności w pożądanej kolejności.

Schemat konstrukcyjny najprostszego mechanizmu rozdzielczego podany jest na rysunku 6-43.

Zasadnicze części mechanizmu to wybierak i zębatka. Jeden skok wybieraka powoduje obrócenie zębatego o jeden ząb i odpowiedni obrót związanej z nią wałka z krzywkami. Liczba krzywek powinna być taka, jak liczba zębów zębatego. Krzywki napędzają dźwignie mechanizmów zwalniających i uruchamiają w ten sposób odpowiednie mechanizmy wykonawcze. Kolejność zależy od ustawienia krzywek. (Mechanizmy wybierakowe stosowane np. w rozdzielaczach telefonicznych, maszynach do pisanja i wielu innych urządzeniach). Mechanizm



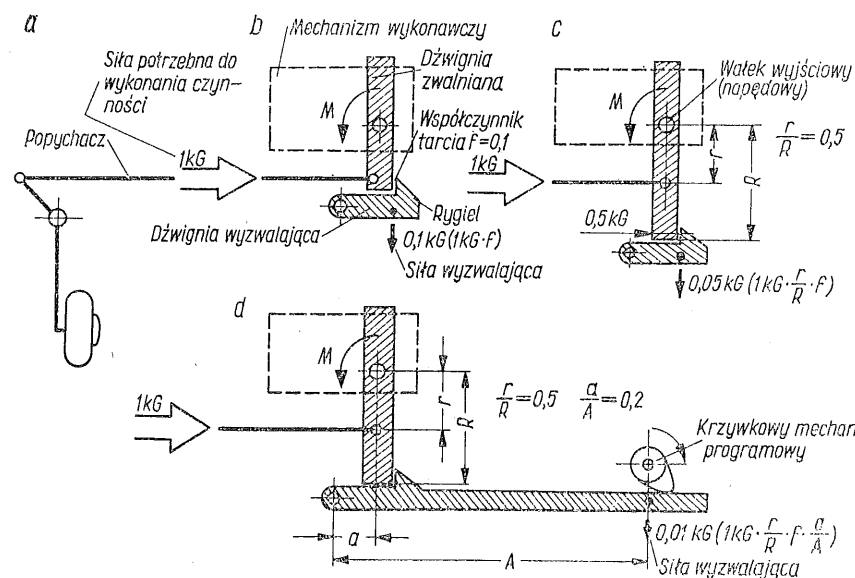
6-41. Silnik elektryczny w układzie chowania podwozia
1 — silnik elektryczny, 2 — przekładnia zębata (2-stopniowa), 3 — wyjściowy wałek przekładni, 4 — gwintowane odcinki wałka 3, 5 — nakrętka, 6 — popychacz, 7 — dźwignia podwozia, 8 — goleń chowana

taki może, oczywiście, sterować wyłącznikami i bezpośrednio włączać odpowiednie elektryczne mechanizmy wykonawcze. Mechanizmy rozdzielcze mogą być uruchamiane za pomocą dodatkowej linki lub elektrycznie, np. elektromagnesem lub innym mechanizmem wykonawczym. Można na przykład bezpośrednio obracać wałek z krzywkami za pomocą silniczka elektrycznego z przekładnią. Sposób ten eliminuje konieczność stosowania wybieraka. Momenty wykonania czynności nie są jednak w tym przypadku ściśle ustalone. Obróty wałka krzywkowego muszą być tak dobrane, aby kolejne czynności były włączone w możliwych do kontrolowania odstępach czasu (ok. 0,8 s).

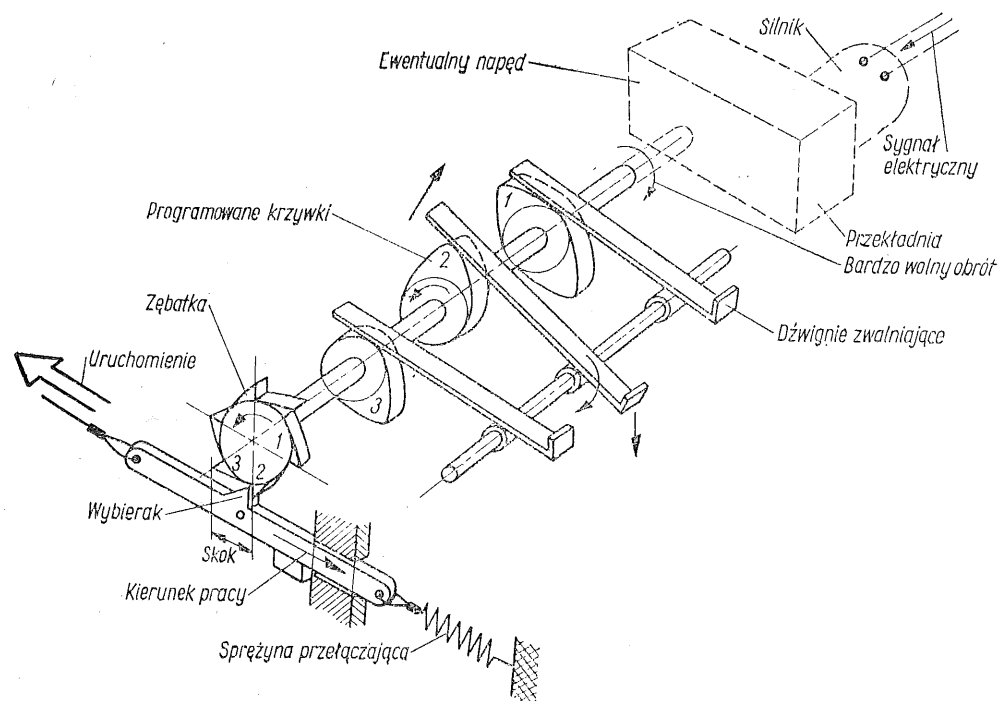
Do obsługi zmechanizowanego modelu potrzebne są, oczywiście, odpowiednie urządzenia sterujące. Związane są one z uchwytem sterującym i obsługiwane przez pilota (rys. 6-44).

Mechanizacja wymaga też stosowania wielu typowych urządzeń elektrycznych, jak:

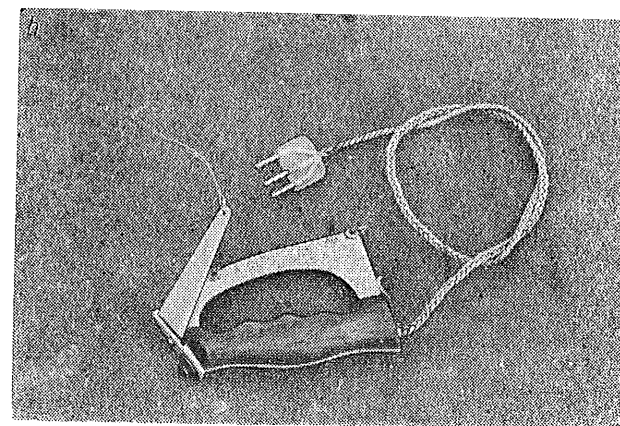
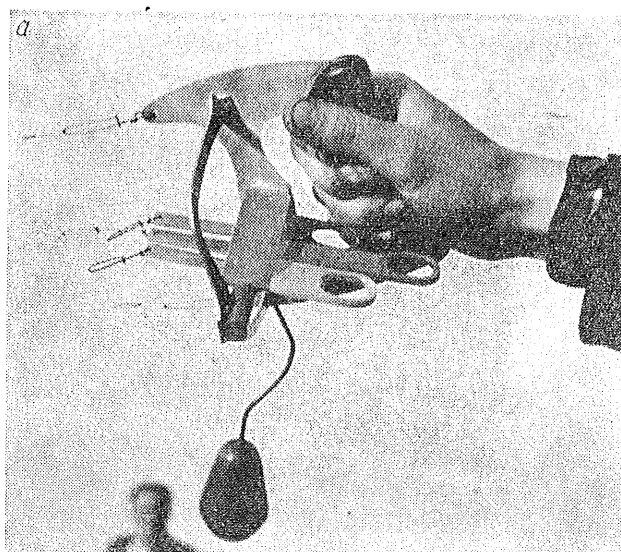
— elektryczne mechanizmy wykonawcze — stosujemy mechanizmy typu progresywnego, takie jak przy zdalnym kierowaniu, lub zwykłe silniki



6-42. Zasada działania i budowy mechanizmu wyzwalającego
a — układ chowania podwozia bez mechanizmu zwalniającego, b — najprostsz mechaniczny mechanizm zwalniający, c — mechanizm z przedłużoną dźwignią zwalniającą, d — mechanizm z przedłużonymi dźwigniami zwalniającą i zwalniającą (zmniejszenie siły 1:100) przystosowany do uruchamiania mechanizmu programowego

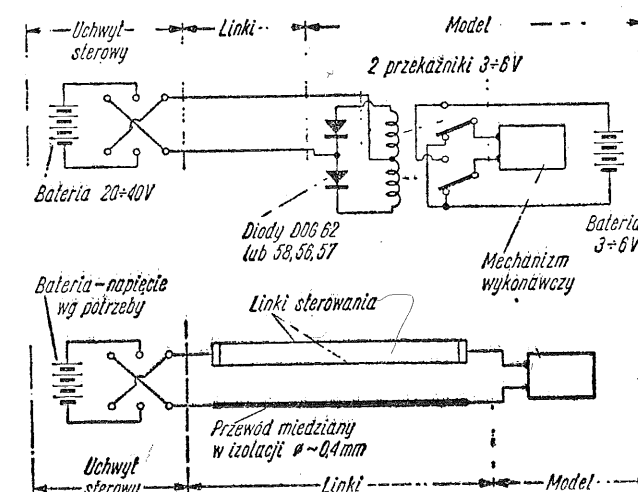


6-43. Zasada działania i budowy rozdzielczego mechanizmu programowego



6-44. Uchwyty sterowe stosowane do pilotażu zmechanizowanych modeli na uwięzi
a — uchwyt przystosowany do sterowania trzema dodatkowymi linkami, b — trójlinkowy uchwyt z zasilaniem i wyłącznikiem sterowania elektrycznego — sterowanie trzecią linką przez obrót uchwytu w płaszczyźnie pionowej (foto autora)

- elektryczne z odpowiednio dobranymi przekładniami;
 - silniki elektryczne — stosujemy silniki miniaturowe (typu PIKO, MIKRO itp.) na napięcie $2,4 \div 6$ V;
 - przełączniki — stosujemy miniaturowe przełączniki na napięcie $3 \div 6$ V;
 - wyłączniki do załączania mechanizmów — stosujemy wyłączniki stykowe lub mikrowyłączniki.
- Do sterowania czynnościami elektrycznymi stosuje się zwykle włączniki przyciskowe oraz przełączniki krzyżowe pozwalające na zmianę biegunowości.



6-45. Przykład obwodu przełącznikowego do wyborczego włączania mechanizmu wykonawczego

Oprócz tego w obwodach przełącznikowych (rys. 6-45) stosuje się układy diod dla ustalenia kierunku przepływu prądu oraz wiele innych elementów, np. żarówki i oprawki, połączenia wtykowe itp. Powinny to być części miniaturowe. Większość potrzebnych elementów można znaleźć wśród typowych akcesoriów zdalnego kierowania.

Oblatywanie modeli na uwięzi

Dobór linek uwięzi

Właściwy dobór długości, grubości i materiału linek na uwięzi ma bardzo duży wpływ na pilotaż i zdolność manewrowania modelami na uwięzi. Siła oporu linek może być bowiem równa oporowi modelu lub nawet go przewyższać. Zbyt długie i zbyt grube linki wykonane z nieodpowiedniego materiału hamują prędkość modelu, nie są dobrze napięte, a pilotaż modelu jest utrudniony.

Najlepszym materiałem na linki jest cienki drut stalowy, fortepianowy. Linki wykonuje się z drutu pojedynczego lub plecionego. Tablica 6-4 umożliwia dokonanie doboru linek stalowych z pojedynczego drutu, zależnie od pojemności (mocy) silnika napędowego.

W razie braku linek stalowych można używać bardzo mocnej nawoskowanej dratwy w dobrym gatunku. Linki powinny być wówczas grubsze i krótsze niż linki stalowe. Linki plecione powinny wytrzymać przynajmniej 10-krotny ciężar modelu,

co trzeba koniecznie sprawdzić. Trzeba je często wymieniać na nowe. Linki niciane stosuje się często do modeli akrobacyjnych, ponieważ druty stalowe mają nieprzyjemną skłonność do zaplatania się, zwłaszcza wtedy gdy są na nich nierówności i załamania.

Używając linek stalowych trzeba pamiętać, że:

- linki muszą być idealnie równe, pozbawione załamania, pętli itp.; w związku z tym trzeba linki przechowywać zwinięte w specjalnym bębnie; linka zagięta i potem prostowana grozi pęknięciem; nie wolno związać linek na uchwyt sterowy;
- linki powinny mieć prawidłowe zakończenie w miejscu połączenia z modelem i uchwytem;
- linki trzeba chronić przed rdzą przez naoliwienie po użyciu, ponieważ linki nawet lekko zardzewiałe pękają.

Stosując linki niciane sprawdzamy przed lotem; — wytrzymałość linek pod obciążeniem, — stan linek: czy nie ma miejsc przetartych, rozplecionych, zamoczonych itp.

Linki, które budzą wątpliwość, wymieniamy.

Dobór średnicy i długości linek uwięzi Tablica 6-4

Pojemność silnika [cm ³]	Średnica linek [mm]	Długość linek [m]	Uwagi
1,0	0,2	8÷10	
1,5	0,25	10÷12	
2,5	0,25	12÷15	
5,0	0,3	14÷18	
10,0	0,4	16÷20	Dłuższe linki stosuje się do modeli szybszych

Stosując się do powyższych zaleceń unikniemy niepotrzebnego rozbicia cennego modelu wskutek pęknięcia źle konserwowanej linki. Należy pamiętać, że linki pękają wtedy, gdy model osiąga największą prędkość. Model, który urwał się z uwięzi, stanowi duże niebezpieczeństwo dla widzów i osób znajdujących się w pobliżu.

Nie wolno stosować na linki żyłki wędkarskiej, która wyciąga się i utrudnia lub wręcz uniemożliwia sterowanie.

Pilotaż

Przygotowania. Jeszcze raz przypominam, jak ważne dla pomyślnego przebiegu lotów jest odpowiednie przygotowanie modelu, silnika i wszystkich akcesoriów, które zabieramy na start.

Kto nie chce rozbić modelu wskutek błędnego nieopatrzania, musi pamiętać o przestrzeganiu przepisów startowych dla modeli na uwięzi.

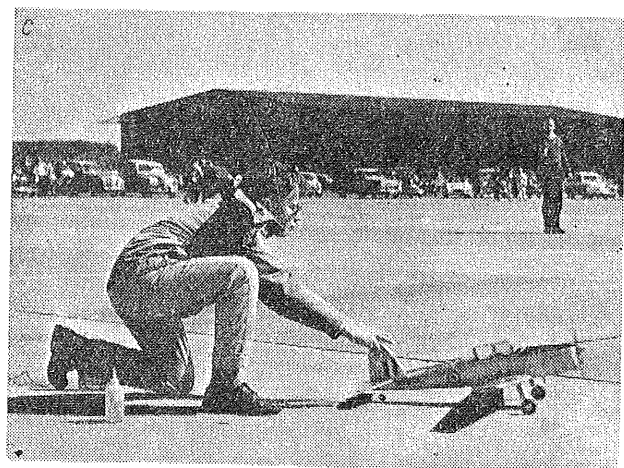
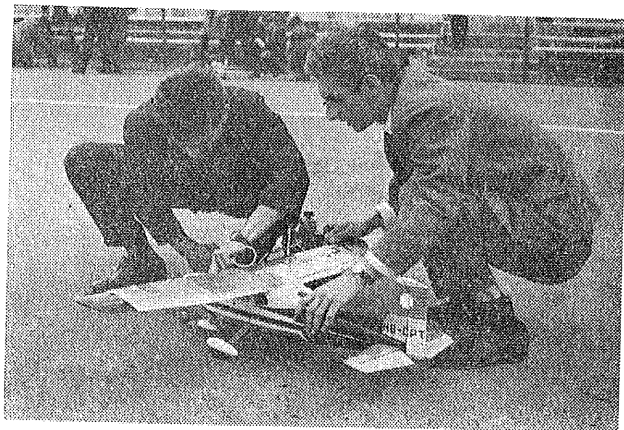
Start. Obowiązują wszystkie zasady ogólne.^{*)} Zależnie od wielkości modelu, jego ciężaru i mocy silnika start może mieć rozmaity przebieg (rys. 6-46). Powinniśmy choć w przybliżeniu przewidzieć przebieg startu. Pamiętajmy:

- Modely duże i ciężkie, zaopatrzone w słabe w stosunku do rozmiarów silniki (np. modele samolotów sportowych i bombowych), będą startować powoli i na długiej drodze. Rozbieg może trwać na przestrzeni połowy okrążenia lub dłużej. Model musi się rozpedzić — nie

*) Patrz „ABC miniaturowego lotnictwa”.

wolno go „na siłę” wyrwać ani startować ze ściągniętym sterem i opuszczonym ogonem. Można lekko oddać ster w pierwszej fazie startu. Po starcie nie ciągnąć modelu do góry — nabrać prędkości.

- Modele małe, lekkie, o mocnych silnikach (np. modele samolotów myśliwskich) mają również długi start, ale szybko się rozpędzają i osiągają znaczne prędkości w czasie startu. Podczas startu należy unikać manipulacji sterem. Nie wolno oddawać steru w chwili ruszania, bo grozi to kapotażem. Ster należy trzymać w neutrum aż do oderwania. Po oderwaniu można lekko ściągnąć — dopuszczalne natychmiastowe wznoszenie.
- Modele bardzo lekkie o dużej powierzchni skrzydeł i mocnym silniku (np. akrobacyjne)



6-46. Miniaturowe samoloty na uwazi na startcie
a — przygotowania, b — chwila przed startem, c — start

(foto autora)

startują bardzo szybko i krótko. W celu przyspieszenia startu można startować ze ściągniętym lekko sterem. Za bardzo ściągać steru nie wolno — grozi pętla po oderwaniu. Po starcie model natychmiast może wykonywać ewolucje.

- Modele o charakterystyce pośredniej będą miały pośrednie właściwości startowe.

Dobrze wyważony model startuje sam — nie przeszkadzajmy mu przy starcie. Jeżeli istnieje możliwość regulacji kąta nastawienia statecznika poziomego, należy go tak ustawić, aby model startował przy neutralnym (zerowym) ustawieniu steru. W czasie wiatru należy tak wybierać miejsce startu, aby oderwanie nastąpiło z bocznym wiatrem napinającym linki (więcej od wewnątrz kręgu). Lot. Modele „dziedziczą” cechy pilotażowe samolotów, których stanowią kopie. Modele szybkie i lekkie (myśliwskie, akrobacyjne) będą reagowały błyskawicznie na wychylenia steru, w przeciwieństwie do modeli ciężkich i powolnych (sportowe, bombowe). Modele o dużej powierzchni i małym ciężarze będą bardziej zwrotne (akrobacyjne) od modeli ciężkich. Górnopłaty będą stateczne i łatwe w pilotażu, dolnopłaty „nerwowe” i trudniejsze. Modele pękate o wielkich oporach są trudniejsze do pilotowania niż modele smukłe i opływowe.

Trudnego pilotażu można się spodziewać przy bardzo małych rozmiarach usterzenia poziomego. Pamiętajmy o wpływie położenia środka ciężkości na stateczność modelu i cechy pilotażowe.

Akrobacja jest dopuszczalna tylko dla modeli specjalnie przystosowanych. Pełna akrobacja wymaga jednak używania modeli wyczynowych projektowanych tylko pod kątem akrobacji.

Lądowanie, podobnie jak start, zależy od charakterystyki modelu, a głównie od jego powierzchni i ciężaru.

Modele o dużej powierzchni i małym ciężarze (akrobacyjne) szybują długo po zatrzymaniu się silnika. Można lądować z dużej wysokości, jest czas na rozpędzenie modelu przez lekkie oddanie steru, a następnie stopniowe zmniejszenie prędkości przez powolne ściągnięcie steru — podobnie jak w samolotach. Całkowita utrata prędkości powinna nastąpić tuż nad ziemią, a lądowanie odbywa się na „trzy punkty” (koła przednie i płożę ogonową). Modele o dużej powierzchni, lecz stosunkowo ciężkie (sportowe, bombowe) lądują podobnie, z tym że nie należy rozpoczynać lądowania na dużej wysokości oraz nie oddawać steru po zatrzymaniu się silnika.

Modele małe (np. myśliwskie) lądują na wprost z bardzo małej wysokości, bez zmiany położenia steru. Ściąganie steru zaczynamy w chwili, gdy model prawie dotyka ziemi.

W celu zabezpieczenia przed ewentualnym kapotażem można całkowicie ściągnąć ster z chwilą, gdy model toczy się po ziemi.

Bardzo ważną sprawą jest właściwe podejście do lądowania. Nie należy gwałtownie reagować sterem, jeżeli silnik „przerwywa”, a model traci w tym momencie nieco wysokości. Trzeba ten moment przeczekać. Może się zdarzyć, że silnik po chwilowej przerwie nagle zacznie pracować i zatrzyma się. Jeżeli przedtem ściągnęliśmy ster, model „wyrwie” świecą do góry, a lądowanie z takiego położenia skończy się rozbiciem modelu.

7

Postęp techniczny

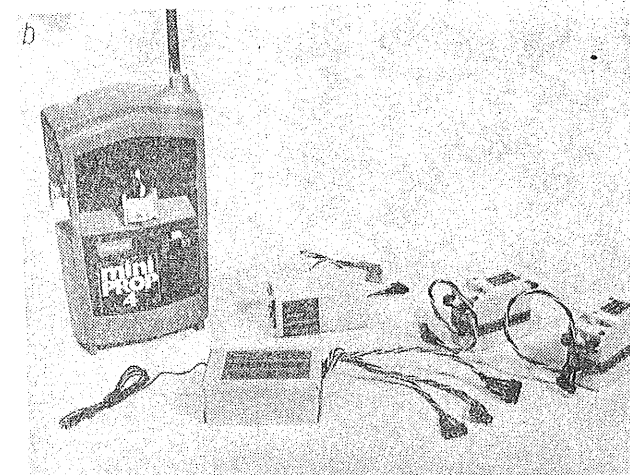
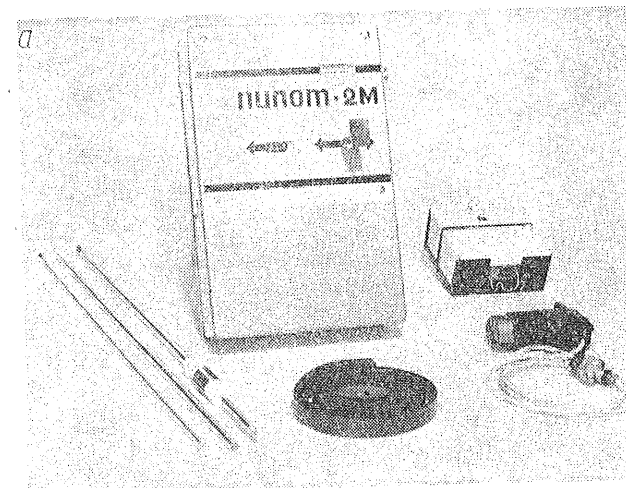
Zdalne kierowanie spowodowało przełom w całej politechnizacji. Wspominałem już o tym i jeszcze raz to podkreślam. Ostatnie osiągnięcia techniki sterowania proporcjonalnego oraz miniaturyzacji urządzeń elektronicznych i mechanicznych przełom ten całkowicie ugruntowały.

W zakresie miniaturowego lotnictwa panujące tendencje można określić jednym zdaniem; jest to dążenie do zatarcia różnic pomiędzy techniką lotniczą a techniką miniaturową przy jednoczesnym bardzo silnym nacisku na umasowienie wszystkich form zdalnego kierowania.

Rozwój techniki zdalnego kierowania idzie przede wszystkim w kierunku zapewnienia jej pełnej funkcjonalności, niezawodności i dostępności. Ogromny krok został zrobiony w momencie zastosowania techniki tranzystorowej — spełniono przede wszystkim podstawowy warunek, jakim była minimalizacja rozmiarów. Jednak o pełnym wykorzystaniu tego warunku można mówić dopiero teraz, gdy w technice zdalnego kierowania znajduje zastosowanie następna, trzecia (licząc od lampy elektronowej) generacja podzespołów elektronicznych — układy scalone. Technika układów scalonych — mikrozespołów zawierających funkcjonalne bloki wielu elementów biernych i czynnych — jest stale doskonalsza.

Wzrasta stopień integracji układów scalonych, mogą one być projektowane specjalnie dla konkretnych zastosowań. Jeden specjalny układ scalony załatwia problem całej elektroniki dla proporcjonalnego mechanizmu wykonawczego lub całego stopnia w odbiorniku. Umożliwia to dalszą miniaturyzację sprzętu, zwiększa niezawodność,

Zdalne kierowanie miniaturowych samolotów



7-1. Nowoczesne urządzenia zdalnego kierowania
a — popularna szkolna, 2-kanalowa aparatura nieproporcjonalna,
b — 2-kanalowa, miniaturowa aparatura proporcjonalna (foto J. Ziolkowski)

ułatwia masową produkcję, a tym samym ma istotny wpływ na obniżenie kosztów wytwarzania i ostatecznej ceny wyrobów. Cena współczesnej 1- lub 2-kanalowej popularnej aparatury przeznaczonej do celów niezawodniczych nie musi być wyższa od ceny przeciętnego radiowego odbiornika turystycznego. Ceny aparatów zawodniczych dysponujących 5÷7 kanałami proporcjonalnymi są kilkakrotnie wyższe. Współczesne urządzenia do zdalnego kierowania modeli^{*)} (rys. 7-1) produkowane są wyłącznie w układach proporcjonalnych, to znaczy że ruchy mechanizmów wykonawczych znajdujących się w modelu dokładnie nadążają, pod względem prędkości i wychyleń, za odpowiednimi ruchami manipulatorów, w które wyposażony jest nadajnik. Do popularnych zastosowań aparatura proporcjonalna nie jest niezbędna i dlatego wiele urządzeń amatorskich, a także prostych aparatów fabrycznych buduje się jeszcze w tym układzie. Charakteryzuje się on tym, że po sygnale nadajnika mechanizm wykonawczy dąży do pełnego wychylenia, jeżeli sygnał nie zostanie przerwany. Efekt proporcjonalności uzyskuje się przez ręczne impulsowanie sygnałów.

Zastosowania i możliwości

Większość obecnie budowanych i stosowanych urządzeń zdalnego kierowania można podzielić, stosując bardzo ogólne i luźne kryteria, na pięć grup:

^{*)} Podstawowe opisy urządzeń RC znajdzie Czytelnik w książce autora „ABC miniaturowego lotnictwa” — rozdział 7.

Możliwości odtwarzania techniki lotniczej i minimalne wymagania dla urządzeń RC

Rodzaje samolotów	Okres historyczny							współczesne
	1903÷1909	1909÷1913	1913÷1920	1920÷1930	1930÷1939	1939÷1945	1945÷1960	
Pierwsze maszyny latające	S	—	—	—	—	—	—	—
Samoloty pionierskie	—	S	—	—	—	—	—	—
Rekordowe dalekodystansowe	—	—	P	T	T	—	—	—
Rekordowe szybkościowe	—	—	—	P	P	—	—	—
Sportowe wyścigowe	—	—	S	T	P	—	P	P
Sportowe akrobacyjne	—	—	—	P	P	—	P	P
Sportowe turystyczne	—	—	—	—	A	—	S	T
Słabosilnikowe i motoszybowce	—	—	—	—	A	—	A	S
Szkolne — cywilne i wojskowe	—	—	S	S	S	S	S	P
Transportowe, pocztowe	—	—	S	T	P	Z	Z	Z
Kurierskie, dyspozycyjne	—	—	—	—	Z	Z	Z	Z
Komunikacyjne	—	—	S	T	P	—	Z	Z
Gospodarcze, rolnicze	—	—	—	—	—	—	T	P
Wojskowe — myśliwskie	—	—	P	P	P	P	P	P
Wojskowe — bombowe	—	—	P	P	Z	Z	Z	Z
Wojskowe — szturmowe	—	—	—	—	—	P	P	P
Wojskowe — strategiczne	—	—	—	—	—	Z	Z	Z
Wojskowe — łącznikowe	—	—	—	S	S	S	T	T

Oznaczenia:
A — amatorskie (1-2 kanały), S — szkolne, popularne (2 kanały), T — typu treningowego (3 kanały), P — podstawowe, typu sportowego (4-5 kanałów), Z — zawodnicze, rozbudowane (7 kanałów)

• Urządzenia amatorskie, najczęściej 1- lub 2-kanalowe, przeważnie nieproporcjonalne. Pozwalają one sterować tylko sterem kierunku.

• Proste aparaty popularne typu szkolnego produkowane fabrycznie, dysponujące 1 lub 2 kanałami proporcjonalnymi lub 2÷4 kanałami nieproporcjonalnymi. Pozwalają na dodatkowe użycie steru wysokości lub sterowanie pracą silnika.

• Aparatury treningowe dające możliwość użycia 3 kanałów proporcjonalnych, stosowane przeważnie do sterowania sterem kierunkowym, sterem wysokości i silnikiem.

• Podstawowym typem jest 4-kanalowa aparatura proporcjonalna, przeważnie uproszczona, a więc tania, dająca możliwość pełnego pilotażu (stery, lotki i silnik) ewentualnie wyposażona w dodatkowy kanał nieproporcjonalny do obsługi jednej czynności pomocniczej (np. chowanie podwozia).

• Najbardziej rozbudowane są specjalne aparaty zawodnicze proporcjonalne, przeważnie 5÷7-kanalowe. Pozwalają one na pełny pilotaż i sterowanie kilku czynnościami pomocniczymi (podwozie, mechanizacja płata, hamowanie, zrzuć itp.), a ponadto wyposażone są w dodatkowe urządzenia zwiększające niezawodność układów elektronicznych oraz trwałość mechanizmów.

Współczesne urządzenia RC pozwalają odtwarzać w wiernych formach miniaturowych wszystkie osiągnięcia techniki lotniczej — historycznej i współczesnej. Ilustruje to tablica 7-1, która ponadto informuje, jaki sprzęt jest do tego celu wymagany. Jako jej uzupełnienie może służyć tablica 7-2, która podaje, jakie czynności mogą być sterowane i jakie jest stopniowanie wymagań zależnie od typu samolotu. Na podstawie tych dwóch ze-

Tablica 7-1

Minimalne wymagania w zakresie mechanizacji modeli zdalnie kierowanych

Rodzaj miniaturowego samolotu	Zdalnie kierowane elementy modelu									
	ster kierunku	silnik (i) wspólnie	silniki — wyrównawczo	ster wysokości	lotki	kłapy	podwozie	kierowanie kół	hamulce na koła	hamulce aerodynamiczne
Jednosilnikowe, górnopłatowe (typu sportowego)	●	○	—	ew	ew	ew	—	—	—	—
Historyczne z okresu pionierskiego	●	○	—	●	ew	—	—	—	—	—
Jednosilnikowe z okresu I wojny światowej (dwupłatowe)	●	○	—	●	ew	—	—	—	—	—
Jednosilnikowe dolnopłatowe (typu sportowego)	●	●	—	ew	ew	ew	ew	sp	sp	—
Sportowe akrobacyjne i myśliwskie II wojny światowej	●	●	—	—	—	ew	ew	ew	ew	—
Szybkie wyścigowe, zawodnicze	●	—	—	—	—	—	—	ew	ew	—
Wielosilnikowe	●	●	●	●	●	ew	ew	sp	ew	ew
Szybowce	●	—	—	○	—	ew	—	—	—	○

Oznaczenia:
● — czynność niezbędna, ○ — czynność pożądana, ew — czynność ewentualnie możliwa do zmechanizowania, sp — czynności sprzęgnięte (kierowanie kół ze sterem kierunku, hamulce ze sterem wysokości)

stawień można łatwo zorientować się w trudnościach i kosztach zdalnego kierowania. Wynikają stąd również najprostsze zalecenia, jakie modele i w jakiej kolejności należy budować, aby zmniejszyć ryzyko niepowodzenia i zredukować koszty do niezbędnego minimum.

W związku z tym należy albo specjalizować się w budowie określonych maszyn z konkretnego okresu historycznego lub podejmować kolejno budowę następujących typów:

- sportowe — turystyczne, górnopłatowe, motoszybowce,
- sportowe — turystyczne, dolnopłatowe, wojskowe — łącznikowe i gospodarcze,
- sportowe akrobacyjne i wyścigowe, myśliwskie z okresu II wojny światowej,
- historyczne z okresu I wojny światowej, pionierskie,
- wielosilnikowe i inne specjalne.

Zdalne kierowanie znajduje zastosowania we wszystkich dziedzinach miniaturowego lotnictwa. Spośród nich wyodrębniłbym trzy najważniejsze. Są to:
— zastosowania o charakterze hobbystyczno-rekreacyjnym,
— zawodnicze,
— zastosowania specjalne.

Pierwsza grupa jest najliczniejsza — obejmuje wszystkie modele budowane dla przyjemności. Mogą mieć one rozmaity charakter — od najprostszych do najbardziej wyrafinowanych, mogą być wierną repliką rzeczywistych oryginałów i mogą stanowić własne konstrukcje. Wyposażenie tych modeli też może być rozmaite, dostosowane do potrzeb i możliwości. Szczególne miejsce wyznaczyłbym wszelkiego rodzaju wodno-samolotom. Coraz bardziej bowiem maleje ilość wolnej przestrzeni na lądzie, zaś obszary wodne, a zwłaszcza sztuczne zalewy stale się powiększają i mogą służyć jako dogodne przestrzenie startowe i lądowiska. Podobne względy powinny też przyczynić się do szerszego spopularyzowania zimowej eksploatacji miniaturowych samolotów. Gdy śnieg pokryje wszystkie nierówności terenu, a wody stojące zamieniają się w gładkie tafle, mamy przestrzeń pod dostatkiem. Do niedawna na przeszkodzie stała mała odporność urządzeń zdalnego kierowania na niskie tempera-

tury — dziś większość firm gwarantuje ich sprawne działanie do —20°C.

Spośród ogromnej różnorodności typów, jakie oferuje nam technika lotnicza, na szczególną uwagę zasługują motoszybowce. Dają one możliwość wykorzystania uroków latania bezsilnikowego przy bardzo niewielkich wymaganiach odnośnie samego napędu. Motoszybowce przeżywają obecnie swój wielki renesans ze względu na ekonomię eksploatacji — ten wzgląd odgrywa również dużą rolę w miniaturowym lotnictwie. Mogą one mieć różny charakter — nawet akrobacyjny.

Wreszcie sprawa napędu — modele typu rekreacyjnego mogą być napędzane dowolnymi silnikami, wcale nie najmocniejszymi i nie najdroższymi. Rysuje się zupełnie realna perspektywa dla napędu elektrycznego. Na razie (wielokrotnie cięższy od silnika spalinowego) napęd ten nie może mieć zastosowań zawodniczych, ale dla celów rekreacyjnych jest idealny — zwłaszcza do motoszybowców i samolotów słabosilnikowych.

Druga grupa — modele zawodnicze, to znów cała technika lotnicza — tyle, że odtworzona z większą dbałością o wierność kształtów i realizm lotu. Jak już wspominałem (patrz rozdział 1), budowane modele mogą mieć bądź przewagę cech technicznych, bądź pilotażowych, bądź też wyłącznie akrobacyjnych. W tej grupie można również umieścić modele wyścigowe.

Trzecia grupa modeli specjalnych jest również bardzo obszerna. Obejmuje ona wszystkie modele doświadczalne, modele budowane do celów rekordowych, pokazowych, propagandowych, reklamowych, filmowych i wiele innych, nie mieszczących się w ogólnie przyjętych ramach. Jest tu także miejsce dla eksperymentów z nowymi rodzajami napędu. Zdalne kierowanie pozwala i nie stwarza już dziś żadnych ograniczeń dla twórczej wyobraźni.

Projektowanie modeli zdalnie kierowanych

Zapoznaliśmy się z niektórymi systemami zdalnego kierowania i mimo że rozważania nasze ograniczyliśmy tylko do systemów najczęściej spotykanych,

Rozmiary, przeznaczenie i osiągi modeli zdalnie kierowanych

Tablica 7-3

Rodzaj samolotu (szybowca)	Przykład	Zalecane przeznaczenie	Silnik (i) pojemność ogólna [cm ³]	Ciężar całkowity (max) [G]	Powierzchnia skrzydła [dm ²]		Prędkość lotu [km/h]
					zakres	zalecana (optimum)	
Szybowce szkolne i treningowo-zawodnicze	PIRAT	P, T	—	1200	35 ÷ 45	40	—
Szybowce wyczynowe-zawodnicze	FOKA	Z	—	1500*) 2000	45 ÷ 60	50	—
Szybowce akrobacyjne	KOBUZ	Z	—	2500	35 ÷ 45	40	—
Motoszybowce turystyczne	PEGAZ	P, T Z	0,8 ÷ 1 1,5	1800 1500	40 ÷ 50	45	—
Samoloty sportowo-szkolne i turystyczne o prędkości przelotowej do 200 km/h	RWD-5, WILGA	P, T	1 ÷ 1,5 2,5 ÷ 5,0	800 2000	20 ÷ 25 35 ÷ 45	40	— 70 ÷ 80 85 ÷ 100
		Z	5 ÷ 8	3000			
Samoloty sportowe — akrobacyjne starszej konstrukcji (dwupłatowe)	PITTS SPECIAL	T	3,5 ÷ 5	2000	50 ÷ 60	55	70 ÷ 80
		Z	6 ÷ 10	3500			80 ÷ 100
Samoloty gospodarcze — wielozadaniowe (koła, narty, pływaki)	An-2	T	5 ÷ 6	2500	60 ÷ 70	60	65 ÷ 80
		Z	8 ÷ 10	4000			85 ÷ 100
Samoloty historyczne 1909 ÷ 1914	BLÉRIOT XI	T, Z	2 ÷ 2,5	1500	40 ÷ 45	40	45 ÷ 50
Samoloty myśliwskie 1914 ÷ 1925 (1WS)	NIEUPORT 28	T	5 ÷ 6	3000	55 ÷ 60	60	70 ÷ 80
		Z	8 ÷ 10	4000			
Samoloty dyspozycyjne i szybkie sportowe (w tym dwusilnikowe)	PIPER CHEROKEE	Z	5 ÷ 8	3000	40 ÷ 50	40	80 ÷ 100
Dwupłatowe samoloty wielosilnikowe 1918 ÷ 1930	VICKERS VIMY	Z	6 ÷ 8	4000	80 ÷ 100	100	60 ÷ 70
Samoloty trójsilnikowe 1930 ÷ 1950	FOKKER	T	3,5 ÷ 5	2500	40 ÷ 45	45	60 ÷ 65
		Z	6 ÷ 8	3000			70 ÷ 75
Samoloty komunikacyjne śmigłowe i (turbośmigłowe)	An-24	Z	8 ÷ 10	4000	35 ÷ 45	40	95 ÷ 105
Samoloty myśliwskie 1938 ÷ 1950 (2WS) oraz szybkie sportowe akrobacyjne	MUSTANG, ZLIN AKROBAT	T	3,5 ÷ 5	2500	35 ÷ 50	40	70 ÷ 90
		Z	10	3000	35 ÷ 40		100 ÷ 110
Samoloty wyścigowe 1925 ÷ 35	SUPERMARINE S-5	Z	5 ÷ 8	2500	40 ÷ 50	40	90 ÷ 100
Samoloty wyścigowe — współczesne	MIDGET-MUSTANG	Z	6,5 max	2500	35 ÷ 40	40	100 ÷ 110
Odrzutowe samoloty myśliwskie (jeden silnik z przodu kadłuba*)	FIAT G-91	Z	8 ÷ 10	3000	30 ÷ 40	35	100 ÷ 110
Odrzutowe samoloty komunikacyjne (jeden silnik z przodu*)	BOEING 727	Z	8 ÷ 10	4000	35 ÷ 45	40	90 ÷ 100
Rekordowe długodystansowe	RWD-5bis	S	2,5 ÷ 3,5	3000	40 ÷ 45	40	60 ÷ 70
Motoszybowce	BEDE BD-2	S	2,5	5000	50 ÷ 60	50	50 ÷ 60

Oznaczenia: P — popularne, T — treningowe, wstępne zawodnicze, Z — wyłącznie zawodnicze wysoko wyspecjalizowane, S — specjalne
*) Napęd modelu silnikiem tłokowym

Profile i wzajemne ustawienie płaszczyzn nośnych modeli zdalnie kierowanych

Tablica 7-4

Rodzaj modelu	Przykład	Skrzydło (profil — kąt nastawienia)	Wznios ¹⁾ skrzydła	Statecznik poziomy profil/kąt nastawienia
Jednoczynnościowe				
Szybowce treningowe i motoszybowce	PIRAT, PEGAZ	Clark-Y/+4°	6÷8°	NACA-0009/0°
Szybowce wyczynowe (termiczne)	CIRRUS	E 385/+3°	6÷8°	NACA-0009/0°
Szybowce wyczynowe (zboczowe)	FOKA	NACA-4409/+4° E 387/+4°	5÷6°	NACA-0009/0°
Samoloty sportowe	RWD-5	Clark-Y 14-10%/0°	5÷7°	NACA-0009/0°
Samoloty dwupłatowe	SOPWITH	Clark-YH 10%/+3° ²⁾	4÷5°	Płytką/—2°
Wieloczynnościowe — wielokanałowe				
Szybowce wyczynowe (uniwersalne)	FOKA	E 387/+4°	4÷6°	NACA-0009/0°
Szybowce akrobacyjne	KOBUZ	E 374 14-10%/0°	3÷4°	NACA-0009/0°
Samoloty historyczne (1904-1914)	BLÉRIOT XI	B 6358/+10°	5÷7°	NACA-4406/+2°
Samoloty dwupłatowe (1914-1925)	SOPWITH CAMEL	RAF 15/+3° ²⁾	1÷4° ³⁾	Płytką/+2°
Samoloty wielosilnikowe (komunikacyjne i bombowe)	FOKKER An-24	Clark-Y 20-12%/0° NACA-2418-12/0	3°	NACA-0006/0° NACA-0009/0°
Samoloty akrobacyjne (myśliwskie i sportowe)	MUSTANG	NACA-2415/0° NACA-0018/+1°	5÷7°	NACA-0009/0°
Samoloty akrobacyjne — dwupłatowe	PITTS SPECIAL	NACA-2412/0° NACA-23012/0°	1÷4°	NACA-0009/0°
Samoloty wyścigowe	MIDGET-MUSTANG	NACA-0012/0° Clark-Y 6%/0°	1÷1,5°	Płytką/0°
Samoloty sportowe (przeciętne)	CESSNA SKYWAGON	NACA-2415/3°	2÷4° ³⁾ 6÷8°	NACA-0009/0°

¹⁾ wznios podano dla skrzydeł bez skosu; przy skrzydłach skośnych do tyłu wznios należy zmniejszyć o 1 ÷ 1,5° na każde 15° skosu.
²⁾ różnica kątów nastawienia pomiędzy górnym (przodującym) a dolnym płatem może wynosić: +0,5 ÷ 1° (większy kąt płata górnego) — zastosowanie treningowe, 0° (brak różnicy kątów) — zastosowanie uniwersalne, —1 ÷ 1,5° (mniejszy kąt płata górnego) — pełna akrobacja zawodnicza,
³⁾ większy wznios dla dolnopłatów, mniejszy dla górnopłatów,

Wskaźniki stateczności podłużnej i wyważenie modeli zdalnie kierowanych

Tablica 7-5

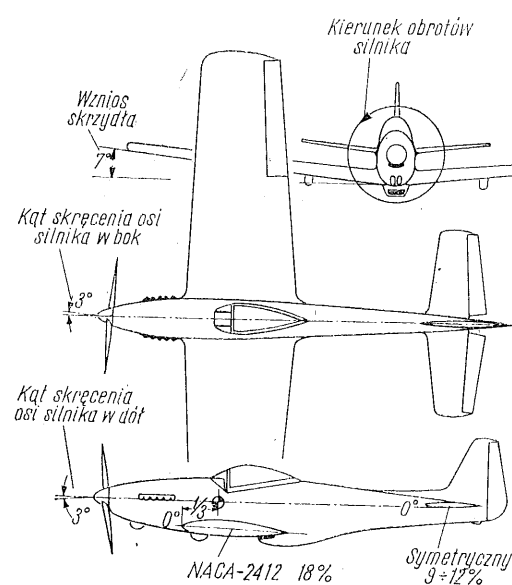
Rodzaj modelu	Modele popularne		Modele zawodnicze	
	wskaźnik A	wyważenie x (% SCA)	wskaźnik A	wyważenie x (% SCA)
Jednoczynnościowe				
Jednokanałowe	0,8 ÷ 1,0	35 ÷ 40	—	—
Wielokanałowe	0,6 ÷ 0,7	30 ÷ 35	—	—
Wieloczynnościowe				
Historyczne, pionierskie	0,5 ÷ 0,6	25 ÷ 30	0,4 ÷ 0,5	25 ÷ 30
Dwupłatowe	0,4 ÷ 0,5	20 ÷ 25	0,35 ÷ 0,45	20 ÷ 25
Przeciętne sportowe	0,6 ÷ 0,7	30 ÷ 35	0,5 ÷ 0,6	25 ÷ 30
Akrobacyjne	—	—	0,5 ÷ 0,65	25 ÷ 33
Wyścigowe	—	—	0,55 ÷ 0,6	25 ÷ 30
Wielosilnikowe	—	—	0,65 ÷ 0,75	20 ÷ 25
Szybowce (ogólnie)	0,75 ÷ 0,85	40 ÷ 50	0,5 ÷ 0,6	35 ÷ 40

Oznaczenia: $A = \frac{S_H}{S} \cdot \frac{L_H}{L_S}$; x — współrzędna pozioma położenia środka ciężkości w % średniej cięciwy aerodynamicznej, mierzona od krawędzi natarcia
Uwaga: mniejsze wartości współrzędnej x odpowiadają mniejszym wartościom wskaźnika A

widzimy, że jest ich niemało. Jeśli weźmiemy jeszcze pod uwagę dużą różnorodność typów, jaką lotnictwo oferuje nam do wyboru dojdziemy, do wniosku, że zasady projektowania muszą być bardzo różnicowane, elastyczne i dostosowane do aparatury, możliwości wykonawczych i pilotażowych konstruktora. Innymi słowy, projektowanie modeli zdalnie kierowanych jest trudniejsze i ten wzrost trudności powinien być zrekomensowany większym doświadczeniem.

Ogólnie biorąc, cykl projektowania powinien przebiegać w następującej kolejności:

- oceniamy możliwości posiadanej aparatury oraz własne umiejętności pilotażowe;
- określamy pożądane właściwości modelu (stateczność) i najkorzystniejszy układ (górnopłat, dolnopłat, dwupłat), a następnie wybieramy odpowiedni samolot;
- zależnie od tego, jaki typ samolotu wybraliśmy i jakim silnikiem dysponujemy, określamy ogólne rozmiary, powierzchnię skrzydła i ciężar modelu; przeciętne wartości zapewniające uzyskanie odpowiednich właściwości lotnych podano w tablicy 7-3;
- dobieramy profile i kąty nastawienia skrzydła oraz statecznika poziomego (tablica 7-4, rys. 7-2) oraz ustalamy położenie środka ciężkości (tabl. 7-5); są to zasadnicze czynniki, które będą decydowały o podłużnej stateczności modelu; obliczeniowe dane profili znajdziemy w rozdziale 15;



7-2. Profile, wyważenie oraz katowe ustawienie płaszczyzn silnika w wieloczynnościowym, akrobacyjnym modelu samolotu myśliwskiego

- sprawdzamy, czy model ma właściwą powierzchnię statecznika poziomego, biorąc za podstawę że wskaźnik stateczności podłużnej nie powinien być mniejszy niż to podaje tablica 7-5; powierzchnia statecznika poziomego powinna odpowiadać zależności:

$$S_H = A \frac{I_{sr}}{L_H} \cdot S$$

gdzie:

A — wskaźnik stateczności (tabl. 7-5),
 I_{sr} — średnia cięciwa skrzydła,

- L_H — ramię statecznika poziomego,
 S — powierzchnia skrzydła;
 jeżeli z obliczenia wynika, że powierzchnia statecznika powinna być większa niż w oryginalnej, należy ją odpowiednio powiększyć, rezygnując, oczywiście, z oryginalnych proporcji; pożądane jest, aby powierzchnia statecznika poziomego wynosiła co najmniej 20% powierzchni skrzydła i to bez względu na to, czy model ma być sterowany sterem wysokości, czy tylko sterem kierunku; w wyczynowych modelach samolotów akrobacyjnych powierzchnia statecznika poziomego może dochodzić nawet do 30% powierzchni skrzydła;
- następnie, zależnie od rodzaju sterowania i typu, jaki model reprezentuje, dobieramy wznios skrzydła — jedyny czynnik, którym możemy regulować poprzeczną stateczność modelu.

Konstrukcja modeli zdalnie kierowanych

Możemy stosować bez żadnych ograniczeń wszystkie dotąd poznane i opisane w poszczególnych rozdziałach tej książki metody konstrukcyjne. Konstruując model trzeba pamiętać o tym, że:

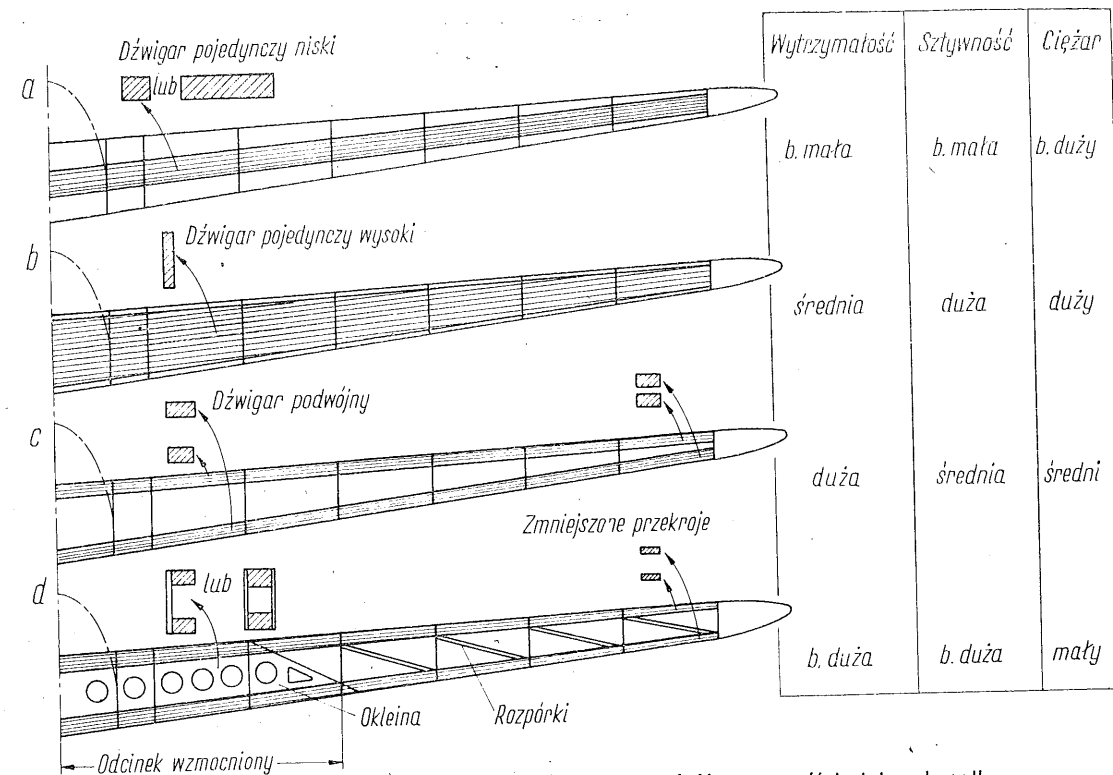
- modele zdalnie kierowane latają na ogół dużo szybciej niż modele swobodnie latające,
- prędkość lotu może się zmieniać w szerokim zakresie (nawet modeli jednokanałowych),
- przeciążenia, jakie mogą w związku z tym wystąpić, są niejednokrotnie bardzo duże; dla modeli jednoczynnościowych trzeba się liczyć z przeciążeniami 6-krotnie przewyższającymi ciężar modelu, w modelach akrobacyjnych przeciążenia są znacznie większe.

W związku z tym konstrukcja modeli zdalnie kierowanych musi odznaczać się dużą wytrzymałością. Powiększenie wytrzymałości nie może być jednak okupione wzrostem ciężaru. Musimy bowiem zawsze pamiętać o tym, że model ma zabrać ładunek użyteczny w postaci aparatury.

Dużą uwagę trzeba również zwrócić na sztywność konstrukcji, zwłaszcza skrzydeł. Dotyczy to również modeli jednokanałowych latających względnie powoli. Co prawda, modele te nie mają na ogół steru wysokości, ale zawsze istnieje możliwość znacznego rozpędzenia modelu w ostrym zakręcie, a w zakręcie długotrwałym model może przejść do lotu spiralnego połączonego z nurkowaniem. Następuje wówczas duży wzrost prędkości i sztywność skrzydła może się okazać niewystarczająca, konstrukcja zacznie drgać (flutter) i ulegnie zniszczeniu. Jest to szczególnie ważne dla modeli szybowców, które mają skrzydła o dużym wydłużeniu.

Musimy więc skupić wszystkie nasze wysiłki na opracowanie lekkiej, ale bardzo wytrzymałej i sztywnej konstrukcji. Z tymi samymi problemami borykają się konstruktorzy prawdziwych samolotów.

Opracowanie lekkiej, lecz mocnej konstrukcji będzie ułatwione, jeżeli będziemy racjonalnie i konsekwentnie przestrzegali niżej podanych wskazówek.



7-3. Wpływ konstrukcji i rozmieszczenia dźwigarów na wytrzymałość, sztywność i ciężar skrzydła

1. Należy stosować właściwe przekroje elementów konstrukcyjnych i wykorzystywać je w najwłaściwszy sposób, zależnie od kierunku działania siły, starając się, aby stosunek wytrzymałości do ciężaru był zawsze jak najkorzystniejszy.
2. Zasadnicze nośne elementy powinny być racjonalnie rozmieszczone w konstrukcji płatowca przy możliwie największym wykorzystaniu korzystnych cech jego sylwetki. Jako przykład może służyć rysunek 7-3, który w poglądowy sposób ilustruje, jak zmienia się wytrzymałość, sztywność i ciężar dźwigara skrzydłowego w zależności od wykorzystania grubości profilu skrzydła (rys. 7-3a i b), rozmieszczenia pasów nośnych (rys. 7-3b i c) oraz dodatkowych wzmocnień (rys. 7-3d).
3. Wytrzymałość konstrukcji powinna być proporcjonalna do rzeczywistych obciążeń. Jako najmocniejsze należy projektować te fragmenty płatowca, które są najbardziej obciążone, a przede wszystkim:
 - przykadłubowe partie skrzydeł i stateczników,
 - wszelkiego rodzaju zamocowania (skrzydeł, stateczników, podwozia, silników),
 - elementy narażone na działanie sił bezwładności (pojemniki na aparaturę i baterie).

W związku z tym, te elementy konstrukcji, które są mniej obciążone, np. dźwigary skrzydła w partii końcowej, mogą być delikatniejsze, a więc lżejsze (rys. 7-3d). Dotyczy to również wszelkiego rodzaju przekrojów zamkniętych (o skrzynkowych dźwigarach i skorupowym pokryciu), gdyż konstrukcje takie mają dużo większą sztywność. Jest to szcze-

gólnie istotne dla modeli latających z dużymi prędkościami (wieloczynnościowe, akrobacyjne). Jeżeli zastosowanie konstrukcji skorupowej jest niemożliwe, można uzyskać pożądane wzmocnienie konstrukcji przez zastosowanie przestrzennych kratownic składających się z układów trójkątnych. Dotyczy to zarówno kadłubów, jak i skrzydeł.

5. Trzeba się starać o maksymalne obniżenie szkodliwego działania tak zwanych karbów. W związku z tym przejścia i połączenia poszczególnych elementów powinny być łagodne, bez gwałtownych zmian przekrojów, materiały konstrukcyjne gładko obrobione i bez widocznych skaz.

Nie wspominam już o tym, że materiały, których użyjemy do konstrukcji, powinny być dobrze dobrane do charakteru nasilenia i sposobu działania obciążeń. O tym każdy, kto decyduje się na budowę modelu zdalnie kierowanego, powinien wiedzieć. Nie użyjemy przecież balsy na zamocowanie silnika, a drewna bukowego na oprofilowanie zakończenia skrzydła.

Oddzielny problem to zagadnienie rozbieralności (demontażu) modelu i związanych z tym zamocowań. Nie powinniśmy poczynać sobie tutaj zbyt dowolnie.

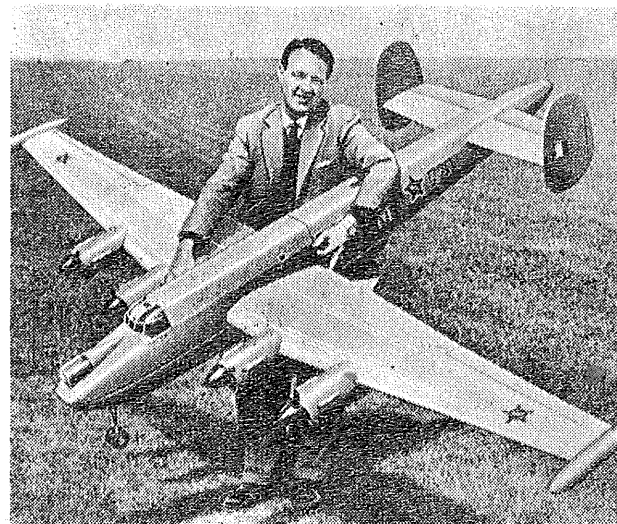
Ogólne zasady są następujące.

W modelach jednoczynnościowych, latających względnie powoli, wszystkie części płatowca mogą być demontowane. Również w wyborze zamocowań nie ma specjalnych ograniczeń, oprócz zasadniczego warunku, że muszą one być pewne w działaniu, dobrze opracowane pod względem wytrzymałości. Można stosować wszystkie dotąd znane metody. Elastyczne zamocowania są też dopuszczalne, pod warunkiem, że nie będą odkształcały się w locie.

Mogą one w dużym stopniu złagodzić skutki ewentualnej kraksy.

W modelach wieloczynnościowych, a zwłaszcza akrobacyjnych, zbyt słabe i wiotkie zamocowania mogą się okazać bardzo niebezpieczne. Nie stancią one zresztą już tak dobrego zabezpieczenia przed skutkami wypadków, które ze względu na duże prędkości, jakie rozwijają modele tego typu, są zawsze fatalne w skutkach bez względu na rodzaj zamocowań. Dlatego rezygnujemy zazwyczaj z dzielenia skrzydła na dwie odejmowane połówki, wykonując je jako całość, montowaną do kadłuba bardzo silnie za pomocą wielu pasm gumy lub śrub (rys. 4-42). Stateczniki na ogół skleja się sztywno z kadłubem, bez możliwości demontowania czy regulacji kąta nastawienia. Ewentualne regulacje przeprowadza się tylko za pomocą skrzydła.

Możliwości w wyborze i konstruowaniu modeli zdalnie kierowanych są bardzo duże, a przy użyciu aparatury wielokanałowej prawie nieograniczone. Ilustracją tego jest fotografia 7-4. Przedstawia ona angielskiego modelarza Dave Walkera z ogromnym (rozpiętość 3100 mm) modelem czterosilnikowego samolotu AVRO SHACKLETON.



7-4. Ogromny, czterosilnikowy model samolotu AVRO SHACKLETON

Model jest napędzany czterema silnikami o pojemności 3,2 cm³ i sterowany 10-kanałową aparaturą własnej konstrukcji.

Nie od razu jednak będziemy mogli pokusić się o wykonanie takiego modelu. Trzeba zacząć od prostszych rozwiązań. Idealną propozycję dla początkujących w tej trudnej dziedzinie stwarza dwusilnikowy samolot sportowy CESSNA SUPER SKYMASTER napędzany dwoma silnikami w układzie tandem (rys. 7-5). Model tego samolotu może być zbudowany przy zastosowaniu dwóch ogólnie dostępnych silników o pojemności 2,5 cm³. Nie ma kłopotów ze statecznością i sterownością w przypadku unieruchomienia jednego silnika, a lot jest możliwy nawet z jednym silnikiem (rys. 7-6).

Przykładem aktualnych tendencji w dziedzinie koncepcji i konstrukcji nowoczesnych modeli zdalnie kierowanych może być model popularnego samolotu sportowego De Havilland CHIPMUNK (rys. 7-7). W modelu tym, opracowanym przez Amerykanina I. Stafforda, wykorzystano wszystkie mo-

żliwości, jakie oferuje dziś technika zdalnego kierowania, a mianowicie:

- szybkość, zwrotność, sterowność, zdolność do wykonywania pełnej akrobacji.
- mechanizację skrzydła — klapy do lądowania,
- proste metody konstrukcyjne i technologiczne (konstrukcje skorupowe z balsy i styropianu),
- nowoczesną, proporcjonalną aparaturę wielokanałową.

Zamieszczony plan konstrukcyjny tego modelu zaczerpnięty z miesięcznika Model Airplane News (rys. 7-8) jest bardzo przejrzysty i zawiera wszystkie szczegóły konstrukcyjne.

Wposażenie modeli zdalnie kierowanych

Model zdalnie kierowany musi unieść nie byle jaki ładunek. W niektórych modelach cały kadłub, poczynając od silnika, a kończąc w okolicy krawędzi spływu skrzydła, załadowany jest „szczelnie” aparaturą — bateriami i mechanizmami.

Najczęściej stosowany i uważany za najlepszy system rozlokowania wyposażenia wewnątrz modelu pokazany jest na rysunku 7-9. Obowiązują następujące zasady: silnik musi być oddzielony od reszty kadłuba mocną, szczelną przegrodą (może ona służyć jako baza do zamocowania łoża silnikowego); tuż za silnikiem należy umieścić zbiornik paliwa i baterie — jako najcięższe, dalej w okolicy środka ciężkości umieszcza się odbiornik aparatury oddzielony grubą warstwą gumy lub styropianu; a jeszcze dalej — oddzielone mocną wręgą — mechanizmy wykonawcze.

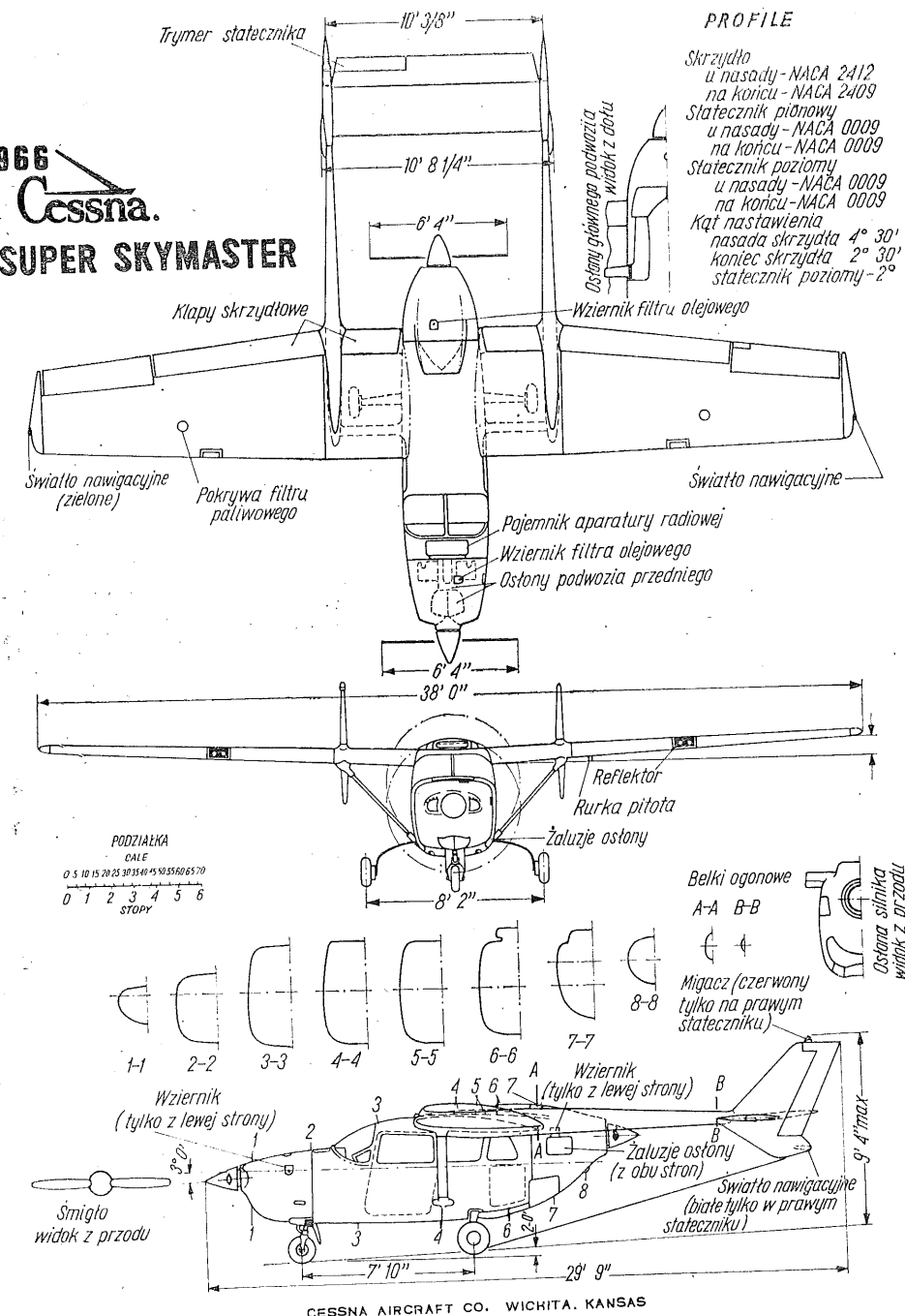
W żadnym przypadku nie należy umieszczać odbiornika przed bateriami — zostanie on bowiem przez nie zgnieciony, gdy model uderzy o ziemię. Rozmieszczenie wyposażenia wzdłuż kadłuba powinno być tak zaprojektowane, aby model był prawidłowo wyważony bez potrzeby dodawania balastu. Najlepiej przeliczyć to jeszcze w fazie projektowania, posługując się schematem obliczeń (rozdz. 2).

Zamocowania poszczególnych elementów powinny odpowiadać następującym warunkom.

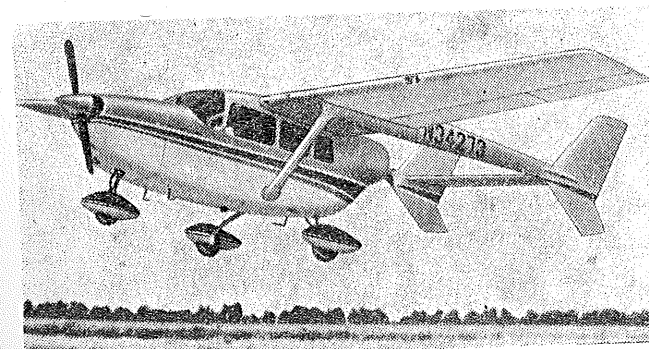
● Zamocowanie silnika musi dawać możliwość łatwej zmiany kierunku ciągu w bok — do 3° (w kierunku zgodnym z obrotem śmigła) oraz w dół — do 5°. Jest to warunek bardzo ważny, bowiem w ten sposób przez zmianę osi ciągu przeprowadza się większość regulacji lotu silnikowego. W związku z tym pożądanym jest, aby silnik zamontowany był do płytki, którą można przesunąć względem łoża silnikowego (rys. 7-10). W celu tłumienia drgań silnik należy zamocować w miarę elastycznie, np. przez zastosowanie gumowych przekładek między konsolami silnika a płytą montażową (rys. 7-11). Nakrętki mocujące powinny być bezwzględnie i pewnie zabezpieczone przed samoczynnym odkręceniem się.

● Zapas paliwa w zbiorniku powinien wystarczać co najmniej na około 6 min pracy silnika dla zwykłych modeli jednoczynnościowych, a na 15÷20 min dla modeli wieloczynnościowych (konieczność wykonania programu akrobacji i lądowania z pracującym silnikiem). Do modeli akrobacyjnych stosuje się specjalny zbiornik (rys. 7-12), zaz-

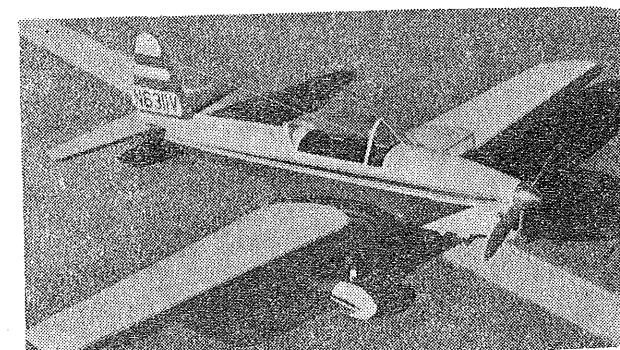
1966
Cessna.
SUPER SKYMASTER



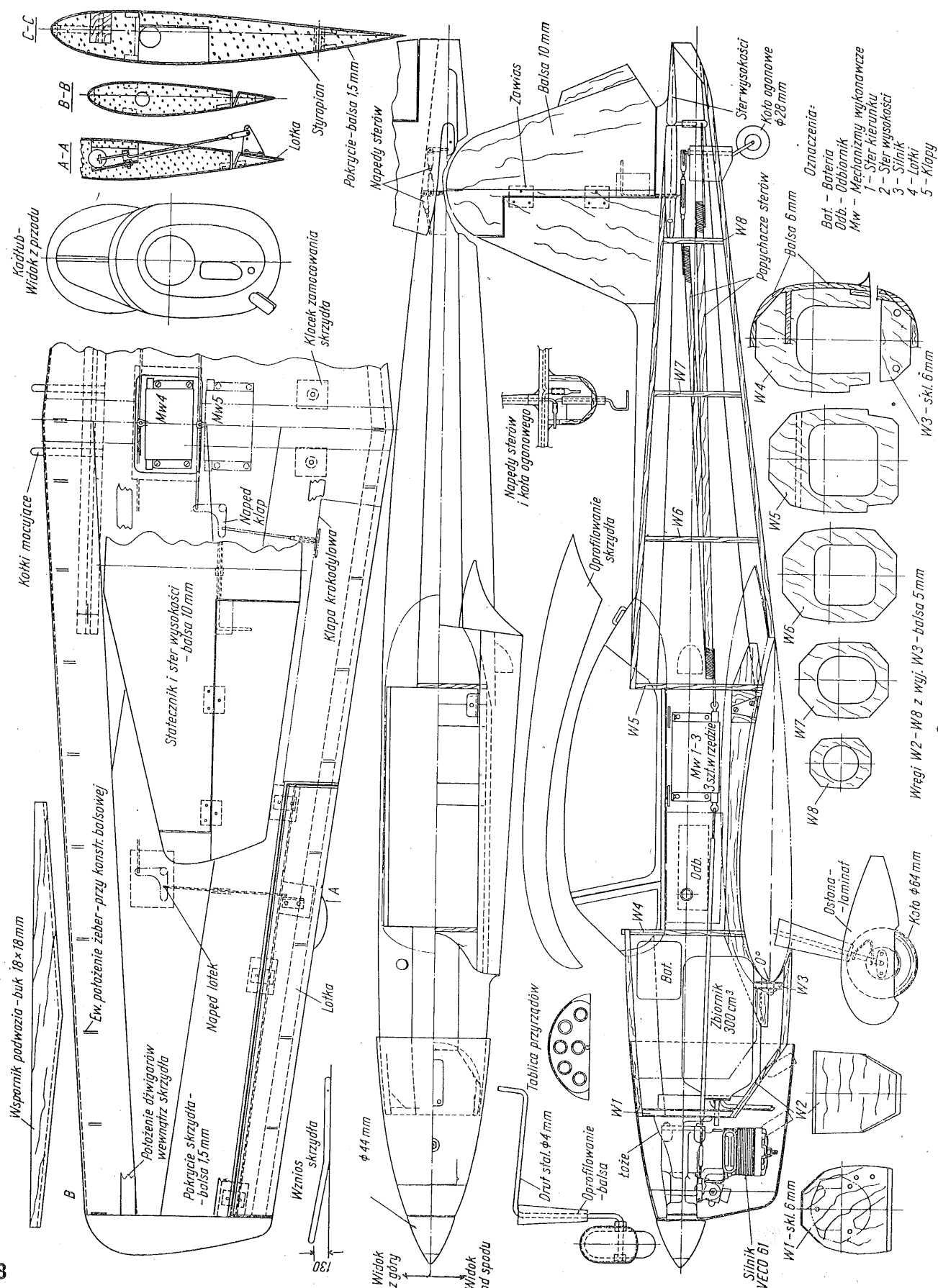
7-5. Szkic samolotu CESSNA SUPER SKYMASTER



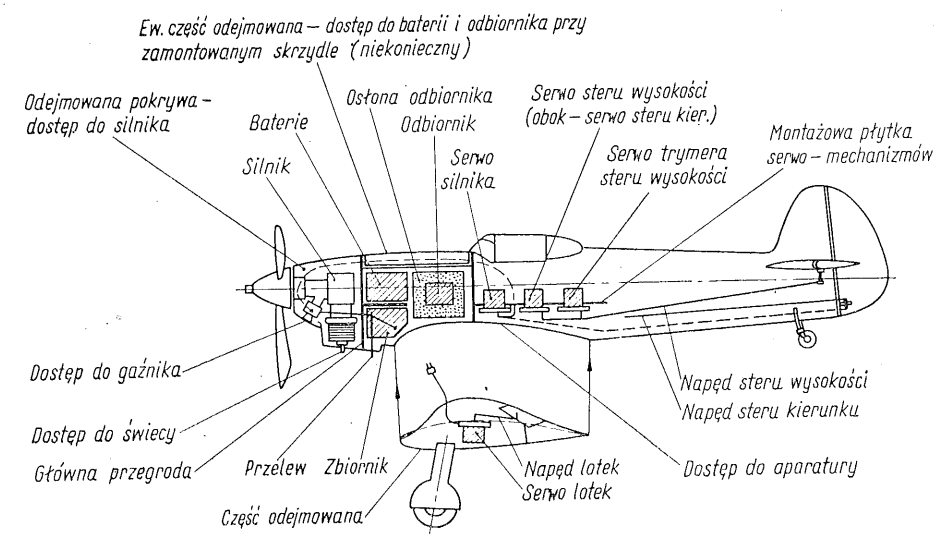
7-6. Model samolotu CESSNA SUPER SKYMASTER w locie na jednym silniku



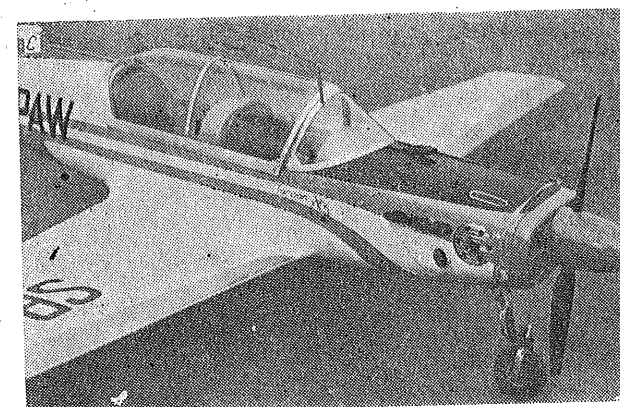
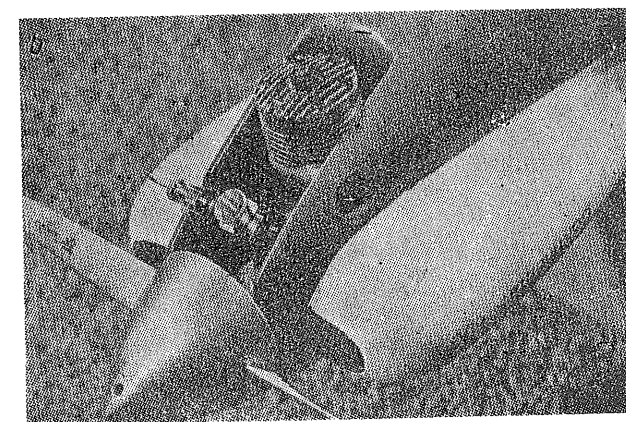
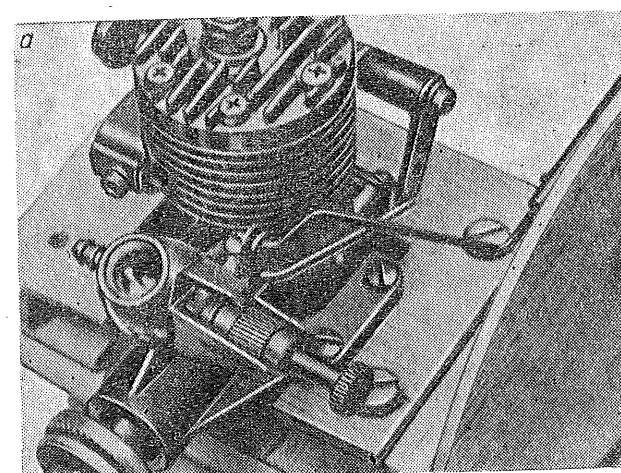
7-7. Model samolotu De HAVILLAND CHIPMUNK



7-8. Konstrukcyjny rysunek wykonawczy akrobacyjnego modelu samolotu De HAVILLAND CHIPMUNK



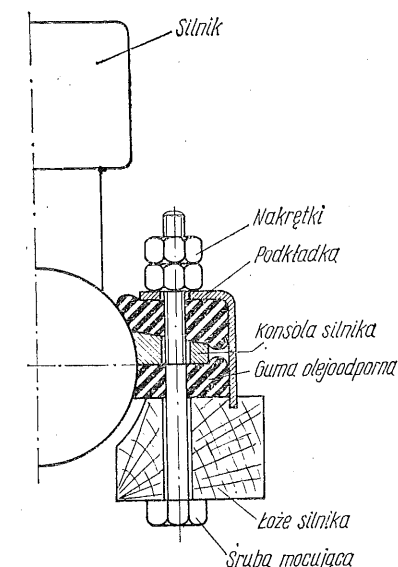
7-9. Najpopularniejszy system rozlokowania wyposażenia w modelu wieloczynnościowym



7-10. Różne sposoby zamontowania i oprofilowania silnika

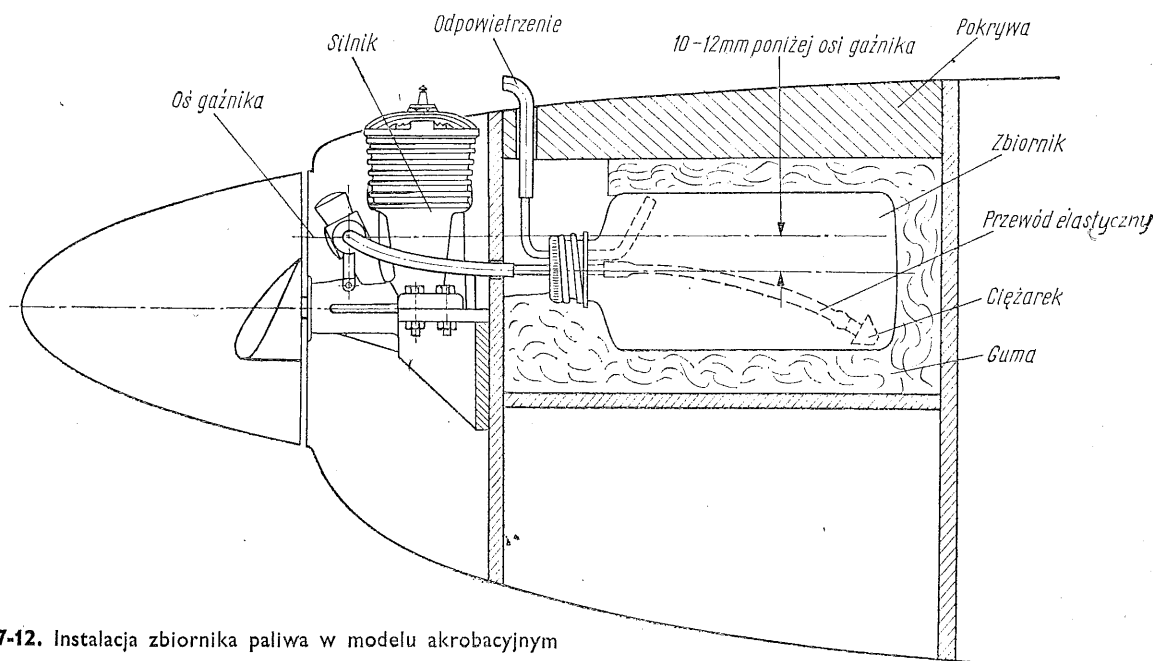
a - silnik nieoprofilowany zamontowany na regulowanej płytce, b - silnik częściowo oprofilowany, c - silnik całkowicie oprofilowany (c - foto autora)

wyczał w formie butelki z polietylenu, zaopatrzonej w elastyczny, obciążony na końcu (ciężarkiem) przewód zasilający, który pozwala na prawidłowe zasilanie silnika niezależnie od tego, w jakim położeniu znajduje się model. W celu zabezpieczenia przed spienieniem się paliwa wewnątrz, zbiornik nie powinien być szczelnie dopasowany pomiędzy ściankami kadłuba, lecz opakowany w gumę porowatą i dopiero włożony do odpowiedniej komory w kadłubie.

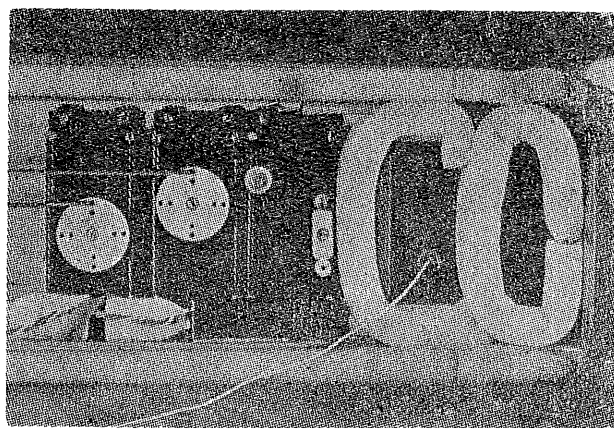


7-11. Elastyczne zamocowanie silnika

● Baterie lokuje się pod, nad lub też za zbiornikiem. Mogą one być opakowane w gumę bądź styropian i włożone do kadłuba (rys. 7-13) lub też ułożone w specjalnym gnieździe i przymocowane gumkami do podłogi, włogi lub ściany kadłuba (rys. 7-14). Zamocowanie takie jest bardzo wytrzymałe i najłatwiejsze z najłatwiejszych. Autor stosował je w swoim modelu RWD-5 bis, gdzie zdały w pełni egzamin wieloletniej eksploatacji. Pożądane jest, aby baterie (jeśli jest ich kilka) były umieszczone w jednym

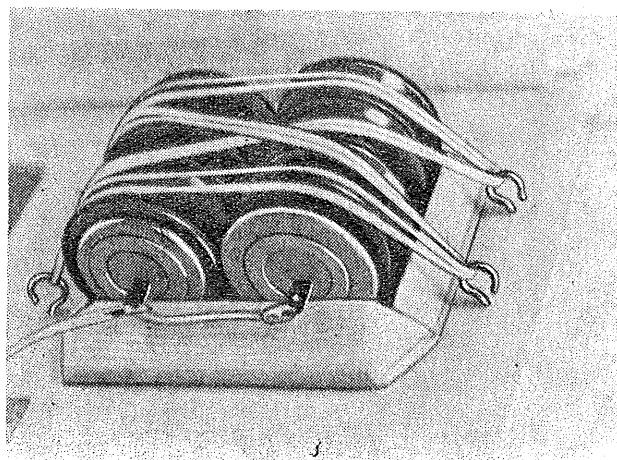


7-12. Instalacja zbiornika paliwa w modelu akrobacyjnym



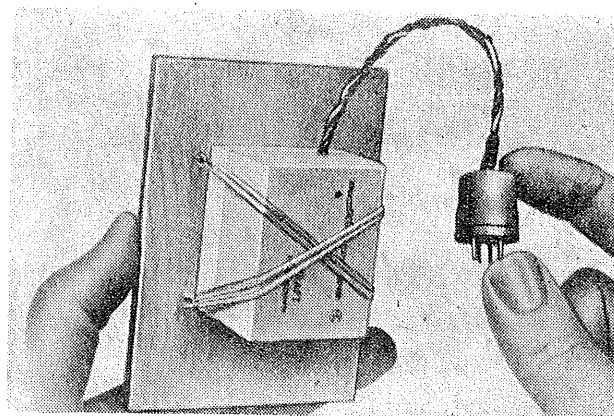
7-13. Wyposażenie RC ulokowane w kadłubie modelu. Od prawej: baterie, odbiornik, mechanizmy wykonawcze

specjalnie na ten cel przeznaczonym pojemniku, łatwym do wyjęcia z modelu. Baterie powinny być połączone z resztą instalacji za pomocą solidnych styków fabrycznych lub przez lutowanie. Zły kontakt na stykach może doprowadzić czasami do nieobliczalnych skutków.



7-14. Prosty i bardzo lekki sposób zamocowania baterii w modelu

● Odbiornik lokuje się za bateriami. Może on być grubo owinięty w gumę lub opakowany w styropian i wciśnięty do kadłuba. Można go też przymocować gumkami do węgla lub podłogi poprzez gumowe przekładki, tak jak na rysunku 7-15. Byłoby bardzo wygodnie, gdyby odbiornik mógł być wyjmowany z kadłuba razem z płytką, do której jest przywiązany. Dla zamocowania płytki należy przewidzieć odpowiednie prowadzenie na ściankach kadłuba.



7-15. Prosty i wygodny sposób zamocowania odbiornika

● Mechanizmy wykonawcze montuje się przeważnie na płytkach przykręcanych w odpowiednim miejscu do konstrukcji modelu (rys. 7-16). Pożądane jest, aby wszystkie mechanizmy były zgrupowane w jeden zespół dający się łatwo wymontować z kadłuba. W celu uniknięcia szkodliwego wpływu drgań silnika należy je montować poprzez przekładki z miękkiej gumy (amortyzatory). Oddzielnego omówienia wymagają napędy urządzeń sterowych i innych mechanizmów miniaturowego samolotu.

Napędy powinny się odznaczać prostotą, niezawodnością i łatwością regulowania. W modelach, podobnie jak w samolotach, stosuje się trzy rodzaje napędów: linkowe, popychaczowe i Bowdena — lub ich dowolne kombinacje.

Napędy linkowe najczęściej stosuje się do uruchamiania steru kierunku w lekkich, niezbyt szybkich modelach. Napędy popychaczowe do steru wysokości i konieczne do lotek, zaś napędy bowdenowe — do obsługi czynności pomocniczych (np. do hamulców itp.). Wszystkie one zostały pokazane na rysunku 7-17. Pokazano na nim również szczegóły budowy, wykonania linek, zaczepów, popychacza, jego regulacji i linki Bowdena.

Bardziej skomplikowany jest napęd sterów przy stateczniku motylkowym. Te same płaszczyzny muszą spełniać rolę steru wysokości — wychylając się jednocześnie, i steru kierunku — wychylając się różnicowo. Sprawdzony schemat takiego napędu pokazany jest na rysunku 7-18. Jeżeli model ma być wyposażony w trymer steru wysokości, można to zrealizować albo przez przestawienie całego statecznika, albo przez wychylenie specjalnej klapki na sterze (za pomocą linki Bowdena) lub wreszcie przez przestawienie neutralnego położenia steru — co jest najczęściej stosowane. Schemat takiego układu, przystosowanego do pracy w systemie nieproporcjonalnym, pokazany jest na rysunku 7-19. Napędy sterów powinny być tak zaprojektowane, aby pełnemu skokowi mechanizmu wykonawczego towarzyszyło właściwe wychylenie steru. Wychylenia te zależą od wielkości płaszczyzny sterowej i jej odległości od środka ciężkości i na ogół są mniejsze niż stosowane w samolotach.

W pierwszym projekcie można przyjąć:

- wychylenie steru kierunku $\pm 15^\circ$
- wychylenie steru wysokości $\pm 10^\circ$
- zmiana neutralnego położenia steru wysokości, trzymowanie $\pm 2^\circ$
- wychylenie lotek od 30° do 15° zależnie od konstrukcji (rys. 7-20).

Wychylenia te powinny następować przy założeniu końcówki popychacza w środkowy otwór na dźwigni sterowej. Otworów tych powinno być kilka (patrz rys. 7-17), aby była możliwość regulowania wychyleń podczas oblatywania modelu.

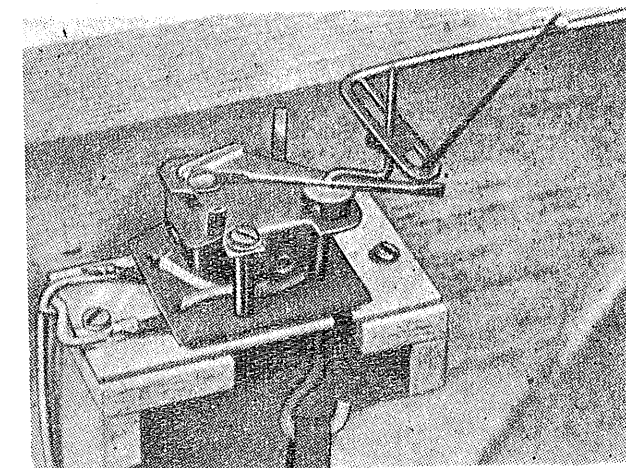
Oddzielny problem to zabezpieczenie napędów przed przypadkowym rozłączeniem się. Najprościej byłoby zalutować koniec sworznia łączącego popychacz z dźwignią sterową. Uniemożliwia się jednak w ten sposób dokonanie łatwej regulacji.

Najczęściej stosuje się sprężynowe zabezpieczenie końcówki popychacza przed wypadnięciem z otworu dźwigni — takie jak na rysunku 7-21.

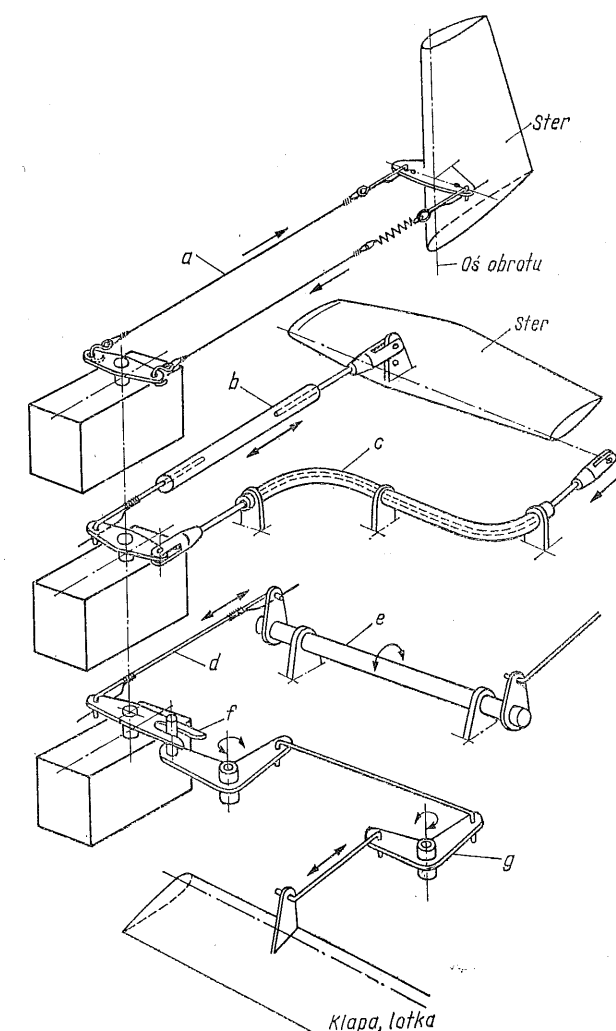
Napędy nie powinny mieć dużych luzów — są one niepożądane i mogą powodować trzępnięcie sterów w locie, szczególnie ważne przy napędzie lotek. Niektóre rodzaje napędów nie powinny z kolei być przesztynowane. Dotyczy to zwłaszcza napędów w układzie sterowania silnikiem oraz układu sterowania kółkiem ogonowym lub nosowym.

Pożądane jest, aby popychacz sterujący dźwignią przepustnicy w gaźniku miał sprężyste zamocowanie zakończenia, umożliwiające dalsze przesuwanie się popychacza, mimo że dźwignia sterowana znalazła się już w skrajnym położeniu ustalonym za pomocą śruby regulacyjnej. Dzięki temu możliwa

jest regulacja skrajnych położenia przepustnicy bez potrzeby dokonywania zmian długości popychacza. Zasada tego urządzenia, wyjaśniona na rysunku 7-22, wykorzystywana jest bardzo często przy sterowaniu czynnościami dodatkowymi, np. trymerem steru wysokości.

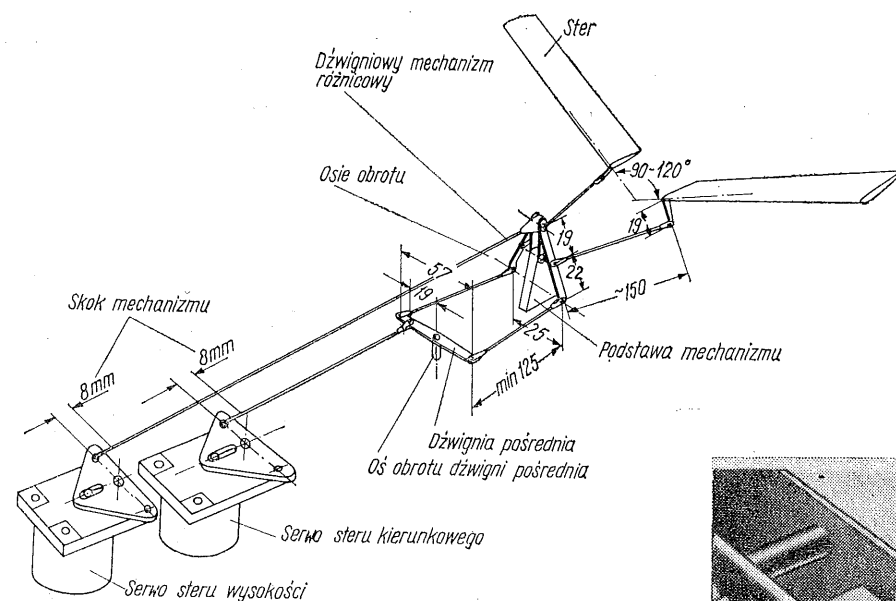


7-16. Mechanizm wykonawczy zamontowany na płytce

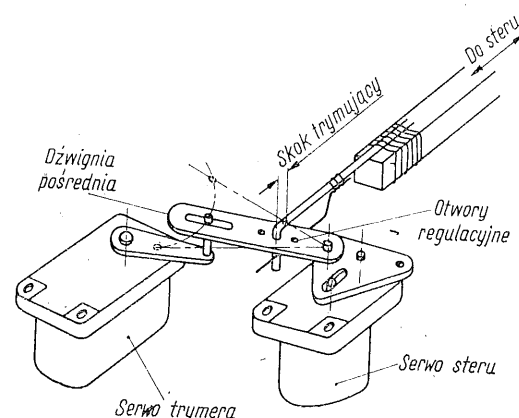


7-17. Zasadnicze rodzaje napędów stosowane w modelach zdalnie kierowanych

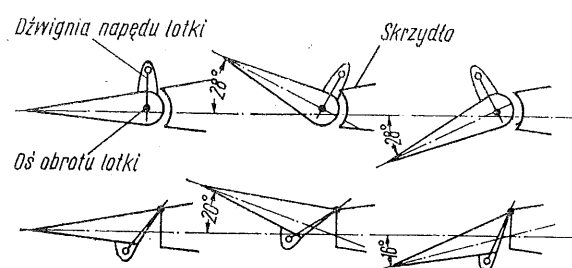
a — linkowy napęd steru kierunku, b — napęd steru wysokości grubym, sztywnym drążkiem, c — napęd cięgłem elastycznym (bowdenem), d — krótki popychacz z drutu stalowego, e — drążek skrajny z dźwigniami, f — rozłączne sprzężenie dwóch dźwigni, g — kątowa dźwignia pośrednia zmieniająca kierunek działania siły



7-18. Mechanizm dwuczynnościowego napędu sterów motylkowych

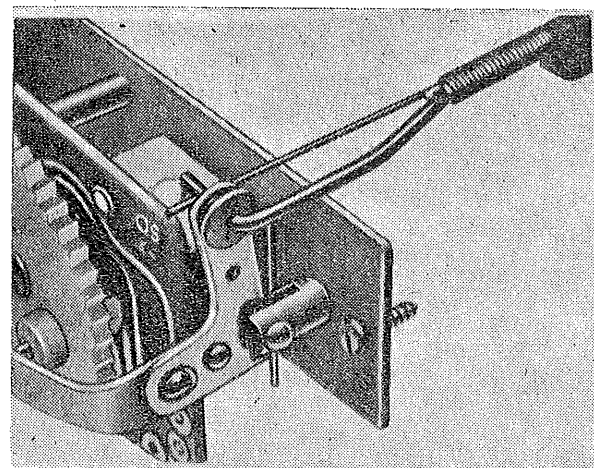


7-19. Najczęściej stosowany system napędu trymera steru wysokości

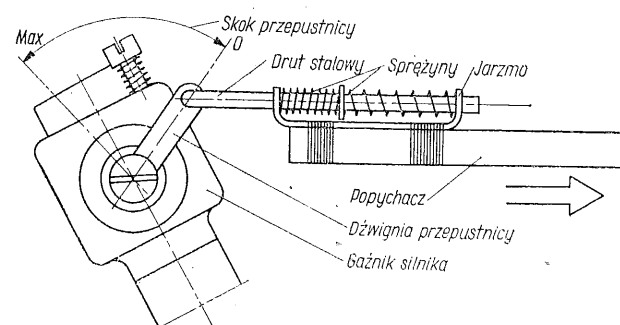


7-20. Trzy najczęściej spotykane typy lotek oraz wielkości wychyleń skrajnych

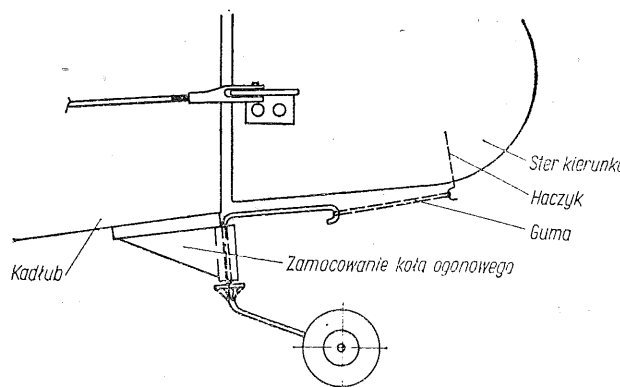
Podobnie kierowanie kółkiem ogonowym (rys. 7-23) lub nosowym (rys. 7-24) sprzęgnięte z napędem steru kierunku powinno się odbywać za pośrednictwem połączeń elastycznych — gumy, sprężyn lub wreszcie odpowiednio wiotkich popychaczy — tak aby siły od podłoża nie przenosiły się na mechanizm wykonawczy i napęd steru.



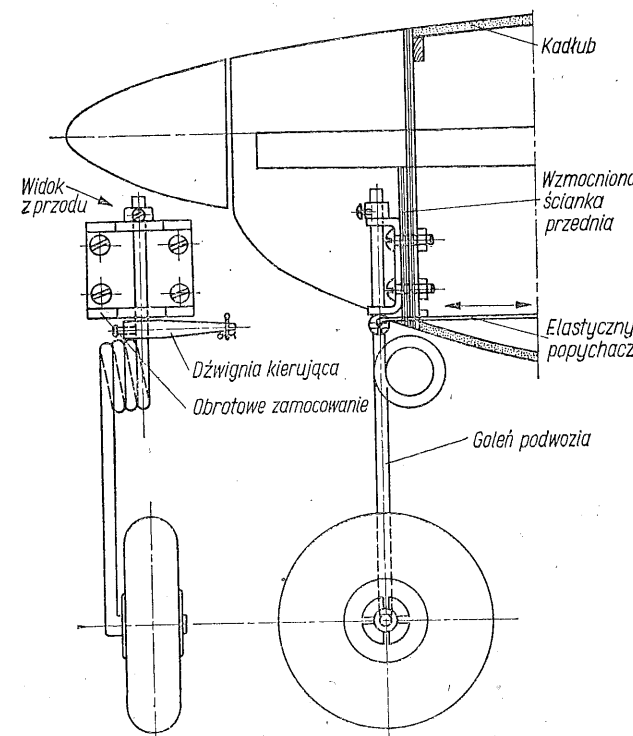
7-21. Sprężynowe zabezpieczenie końcówki popychacza przed samoczynnym rozłączeniem się



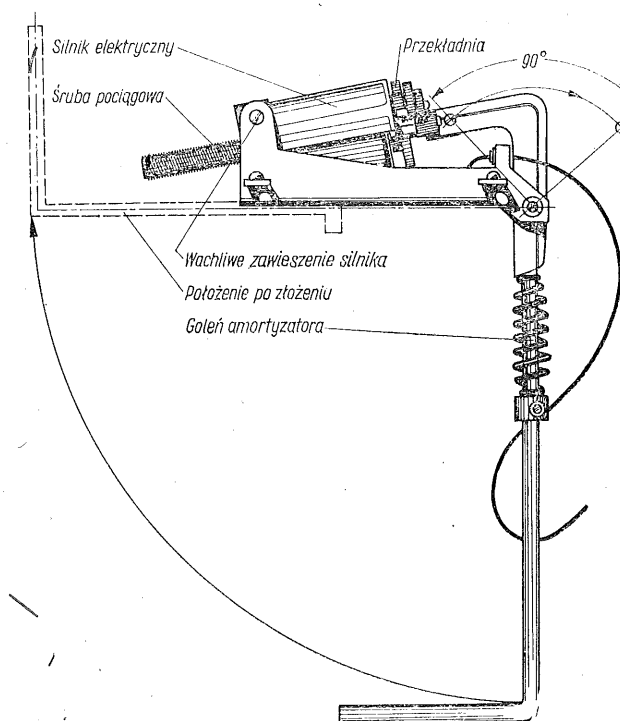
7-22. Elastyczne połączenie popychacza z dźwignią przepustnicy w gaźniku



7-23. Sprężyste połączenie steru kierunkowego z kółkiem ogonowym



7-24. Szczegóły konstrukcji kierowanego kółka przedniego



7-25. Zespolony mechanizm chowania podwozia

Oddzielne miejsce wśród elektromechanicznego wyposażenia zdalnie kierowanego miniaturowego samolotu zajmują różnego rodzaju mechanizmy specjalne. Należą do nich zespolone mechanizmy chowania podwozia (rys. 7-25), składające się zazwyczaj z elektrycznego mechanizmu wykonawczego typu progresywnego, połączonego w jeden zespół z układem chowanej goleń. W tym rozwiązaniu każda goleń stanowi oddzielny, elektrycznie sterowany zespół z własnym napędem. Do podobnych urządzeń należą również hamulce elektromagnetyczne — niezależne dla każdego koła hamowanego.

Oblatywanie i pilotaż modeli zdalnie kierowanych

Problematyka związana z oblatywaniem i pilotażem modeli jest bardzo obszerna. Została ona częściowo omówiona w książce autora — "Abc miniaturowego lotnictwa". Tutaj podano jedynie ogólne zasady dotyczące najprostszyc aparatów i najprostszyc modeli. Modele jednokanałowe o niedużym obciążeniu powierzchni nośnej i niewielkiej prędkości oblatu — je się podobnie jak modele swobodnie latające — z ręki, aż do osiągnięcia poprawnego lotu ślizgowego.

Zanim przejdziemy do pierwszych prób w locie silnikowym musimy sprawdzić zasięg aparatury. Powinien on wynosić przy ziemi co najmniej 500 m. Oblatywanie rozpoczynamy przy zmniejszonej prędkości obrotowej silnika, puszczając model z ręki. Model powinien wznosić się, krążąc łagodnie w kierunku przeciwnym do kierunku obrotów silnika. Regulację krążenia w locie silnikowym przeprowadzamy przez odpowiednie wychylenie osi silnika w bok. W celu zabezpieczenia się przed zbyt gwałtownym zakrętem, jaki model mógłby wykonać już w pierwszym locie, oś silnika należy wstępnie wychylić o około $1 \div 2^\circ$ w kierunku obrotów wału korbowego (patrzac od tyłu).

Istnieje wiele systemów regulacji modeli jednokanałowych. Najbezpieczniejszy polega na tym, że model wznosi się w lewej spirali (przeciwnie do kierunku obrotów silnika), a szybuje w prawym zakręcie. Zakręt w locie silnikowym wywołany jest działaniem momentu silnika, a zakręt w locie ślizgowym nadaje się przez niewielkie wychylenie steru w kierunku w prawo. Jest to o tyle bezpieczny system, że w przypadku gdy model nadmiernie rozpędzi się podczas wznoszenia i nadmiernie zacięśni zakręt, to aerodynamiczna reakcja od wychylonego steru będzie się starała wyprowadzić go z takiego niebezpiecznego położenia.

Lot wznoszący powinien być spokojny, pewny i stateczny. Model powinien wznosić się sam i nie należy mu w tym przeszkadzać. Dopiero gdy osiągnie on wysokość co najmniej 30 m, można spróbować działania steru, dając krótki sygnał w prawo. Model powinien prostować lot. Należy wówczas używać tylko krótkich sygnałów, starać się o utrzymanie kursu pod wiatr. Nie wolno przetrzymywać sygnałów, bo może to spowodować zbyt gwałtowny zakręt, wejście w stromą spiralę i rozbitcie modelu. Sterować należy tylko krótkimi impulsami, a gdy model za słabo reaguje, zwiększyć częstotść nadawania impulsów — nie trzymać modelu na sygnale — jest to zasadniczy błąd wszystkich początkujących pilotów.

Sposób sterowania zależy oczywiście od tego, w jaki mechanizm wykonawczy model jest wyposażony. Jeżeli model ma mechanizm programowy pracujący wg zasady: jeden sygnał — wychylenie steru w jednym kierunku, dwa sygnały — wychylenie przeciwnie, należy mechanizm połączyć ze sterem w ten sposób, aby na jeden sygnał model skręcał przeciwnie do kierunku samoczynnego krążenia w locie silnikowym. Będziemy mogli wówczas

wygodnie kontrolować lot silnikowy krótkimi pojedynczymi sygnałami. Dwóch sygnałów nie będzie my na razie używali, traktując ich użycie jako ostateczność.

Aby dobrze wykorzystać ten sposób sterowania, trzeba „zmusić” model do zakręcania również w locie ślizgowym w tę samą stronę, co po wstępnym oblataniu modelu można łatwo uzyskać przez wycofanie wychylonego uprzednio steru kierunkowego. Model będzie wówczas gwałtowniej skręcał podczas lotu silnikowego, czemu należy zapobiec przez niewielkie dalsze wychylenie silnika w stronę przeciwną do zakrętu. Będziemy wówczas mogli kontrolować cały lot tylko krótkimi pojedynczymi sygnałami.

Bez sygnału model powinien wykonywać łagodne bezpieczne kręgi w lewo, a przy sygnale — skręcać w prawo. Przetrzymanie sygnału wprowadzi model w prawą spiralę. W celu wykonania pełnego prawego okrążenia będziemy musieli (przy tym sposobie) nadawać szereg krótkich, następujących po sobie sygnałów. Ich częstotliwość nie może być jednak zbyt duża, ażeby mechanizm nie wychylił steru w przeciwnym kierunku (jak dla dwóch sygnałów). Dwa sygnały nadane według programu: jeden krótki sygnał, bardzo krótka przerwa, drugi sygnał — trzymany w miarę potrzeby, powoduje pogłębienie lewego zakrętu. Przetrzymanie grozi tym razem bardzo ostrą spiralą — zwłaszcza przy pracującym silniku.

Podczas oblatywania możemy się spotkać z nieprawidłowościami, którym w następujący sposób przeciwdziałamy.

- Model wznosząc się zbyt ciasno krąży w lewo, przechylając się niebezpiecznie na lewe skrzydło (kierunek przeciwny do obrotu śmigła), w locie ślizgowym również krąży ciasno w lewo — należy wychylić ster kierunku nieco w prawo.
- Model wznosi się tak jak poprzednio, szybuje prosto lub w prawo — korygujemy wychyleniem silnika w prawo o około 1° .
- Model wznosi się w prawym zakręcie, szybuje też w prawo — zmniejszamy wychylenie osi silnika w prawo. Jeżeli model szybuje w lewo, zmniejszenie wychylenia silnika musi być większe.
- Model poprawnie szybuje, lecz w locie wznoszącym nadmiernie „zadzierają” i ma tendencję do „pompowania” — należy zwiększyć wychylenie osi silnika do dołu. Dodatkowy „ciąg w dół” zredukuje nadmierne „zadzieranie”.
- Model poprawnie szybuje, a w locie silnikowym nie nabiera wysokości — „ciąg w dół” jest zbyt duży, należy go zmniejszyć.
- Model „pompuje” w locie ślizgowym. Ratujemy się, wprowadzając model krótkim impulsem w zakręt akurat w momencie tuż przed przepaźnięciem. Nadanie impulsu w chwili gdy model nurkuje, mogłoby pogorszyć sytuację i zwiększyć objawy niestępczości. Po wylądowaniu usuwamy szkodliwy objaw przez zwiększenie kąta nastawienia statecznika poziomego lub zmniejszenie kąta nastawienia skrzydła.

Dobrze oblatanym, statecznym modelem można wykonywać nawet następujące proste figury akro-

bacyjne (wymienione kolejno zgodnie ze stopniem trudności wykonania).

1. Stroma spirala — wykonujemy z dużej wysokości (co najmniej 100 m) w kierunku zgodnym z obrotem śmigła przez przetrzymanie pojedynczego sygnału — model początkowo zakręca, a następnie zacieśnia krąg, rozpędza się i nurkuje. Po wykonaniu dwóch, najwyżej trzech zwitek zwalniamy sygnał. Model wznosi się teraz gwałtownie i ma chęć wykonać „pompe”. Wprowadzamy go w szczytowym punkcie krótkim sygnałem w prawo. Spirala wykonana w przeciwnym kierunku (przeciwnie do obrotu śmigła) nie jest na ogół tak stroma, co tłumaczy się zadzierającym efektem żyroskopowym obracającego się śmigła. Piloci wiedzą doskonale o tym, że każdy prawie samolot ma tendencję do lekkiego zadzierania, gdy zakręt jest przeciwny do kierunku obrotów śmigła, opuszcza natomiast nos, gdy zakręca zgodnie z kierunkiem obrotów śmigła. Modelarze też powinni o tym pamiętać.
2. Pętla — model wykonuje samoczynnie, jeżeli był nadmiernie rozpędzany w spiralnym locie nurkowym.
3. Przewrót — dobieramy prędkość nurkowania ten sposób, aby model wykonał ćwierć pętli i miał tendencję do zawisnięcia w pozycji prawie pionowej. Tuż przed tym momentem dajemy pełny skręt w prawo i przetrzymujemy nieco, model obraca się wokół osi pionowej i przyjmuje położenie nosem w dół. Zwalniamy sygnał — model nurkuje przechodząc następnie do wznoszenia. Wyprowadzamy jak przy „pompowaniu”.
4. Beczka — wprowadzamy model w lot nurkowy, wyrównujemy i w chwili gdy model wznosi się pod kątem 45° – 50° , dajemy sygnał w prawo i przetrzymujemy. Model wykonuje wówczas spiralę w kierunku poziomym, co sprawia takie samo wrażenie jak beczka. Gdy model jest bliski położenia poziomego, zwalniamy sygnał — model powinien samoczynnie wyrównać lot.
5. Immelman — wprowadzamy model jak do pętli, gdy znajdzie się u szczytu w odwróconym położeniu, dajemy pełny sygnał i przetrzymujemy. Model powinien wykonać coś w rodzaju połowy beczki i wrócić do położenia normalnego. Prawidłowe wykonanie figury wymaga treningu, zgrania prędkości, momentu i kierunku sygnału.
6. Wywrót bojowy — rozpoczynamy jak przy beczce, gdy model znajdzie się w pozycji odwróconej, zwalniamy sygnał pozwalając mu na wykonanie połowy pętli — pod siebie. Manewr wymaga dobrania właściwej prędkości i treningu.

Jak widzimy, możliwości modeli jednokanałowych są wcale duże. Wszystko zależy od treningu.

Gdy model jest sterowany systemem dwukanałowym, wówczas zarówno oblatywanie, jak i pilotaż są łatwiejsze — mamy bowiem możliwość swobodnego wyboru kierunku, możemy dokonywać natychmiastowych poprawek w przypadku popełnienia błędu i skierowania modelu w niewłaściwym kierunku. Podczas oblatywania należy zachować zasadę stałego zakrętu w lewo, choć można wyregulować model w ten sposób, aby wznosił się prosto. W locie ślizgowym ze względów bezpieczeństwa model również powinien spokojnie zakręcać.

Ładowanie modelem jednoczynnościowym nie jest trudne, gdy model dobrze szybuje. Wystarczy tylko trzymać kurs pod wiatr. Początkujący piloci na skutek złej oceny wysokości na ogół nie potrafią przyziemić modelu w pobliżu nadajnika. Aby nauczyć się lądowania „na punkt”, trzeba stosować tak zwane czterozakrętowe podejście do lądowania, na wzór odpowiedniego manewru stosowanego w lotnictwie. Wykonujemy je następująco. Podchodzimy nad nadajnik — pod wiatr na wysokości około 30–50 metrów — przelatujemy linię nadajnika, lecąc dalej w locie pod wiatr. W pewnej odległości od nadajnika, która powinna być większa przy silniejszym wietrze, wykonujemy skręt w lewo o 90° . Kontynuujemy dalej lot bokiem do wiatru korygując, krótkimi impulsami w prawo, spychając działanie wiatru. Gdy model odleci około 100 m w bok, zakręcamy z wiatrem. Obserwujemy jak wysokość maleje, pozwalając mu odlecieć poza nadajnik na tyle, aby starczyło jeszcze wysokości na dołot do nadajnika. Odległość ta powinna być mniejsza przy dużym, a większa przy małym wietrze.

Modele wieloczynnościowe oblatuje się zupełnie inaczej. Modele są ciężkie i oblatanie ich z „ręki” jest zupełnie niemożliwe. Oblatywać trzeba na lotnisku z pasa startowego o dostatecznie dużej szerokości i długości co najmniej 100 m. Przed lotem model musi być bardzo starannie sprawdzony. Dotyczy to przede wszystkim kątów nastawienia skrzydła i statecznika oraz wyważenia. Na początek ustalamy takie wartości, jak w tablicy 7-4. Wszelkie zwichrzenia są niedopuszczalne, a płaszczyzny sterowe muszą znajdować się w neutralnym położeniu. Działanie aparatury musi być bez zarzutu.

Regulacja obrotów silnika musi działać sprawnie, przy biegu jałowym silnik nie może mieć tendencji do zatrzymywania się. Oś silnika powinna być nieco (do 3°) skrzyżowana w bok — w kierunku obrotów (w górnołacie dodatkowo do 5° w dół). Pierwsza próba polega na sprawdzeniu, jak model kołuje. Zwiększamy więc nieco obroty silnika i pozwalamy mu toczyć się pod wiatr. Model powinien toczyć się prosto. Niedokładności poprawiamy przez właściwe ustawienie kół — głównie koła przedniego. Jeżeli model nie ma koła przedniego, sprawdzamy również, przy nieco większej prędkości, jak przebiega kołowanie, gdy ogon modelu jest uniesiony. Gdy kołowanie jest prawidłowe i łatwe, można przystąpić do próbnych startów. Startujemy na pełnych obrotach silnika (rys. 7-26), koniecznie wzdłuż pasa — prosto pod wiatr (należy wybrać dzień, kiedy wiatr wieje wzdłuż pasa). Obserwujemy, jak model się rozpędza i korygujemy ewentualne zboczenia z kursu krótkimi impulsami steru kierunku. Będziemy mieli trzy możliwości.

- Model rozpędza się i nie wykazuje żadnej tendencji do oderwania się, tak być powinno. Gdy prędkość jest już duża, dajemy krótki impuls steru wysokości w górę. Model powinien oderwać się od ziemi i rozpocząć wznoszenie.
- Model nie odrywa się, mimo że ponowiliśmy impuls w górę — natychmiast redukujemy obroty i przerywamy start. Ponawiamy próbę po zmniejszeniu kąta nastawienia statecznika poziomego (o około 1°).



7-26. Modele zdalnie kierowane na startcie
a — wyjście na start, b — lot

(b — foto autora)

- Model odrywa się sam, bez udziału steru wysokości i przy zmniejszonej prędkości. Jest to dopuszczalne w górnołacie — dla dolnołata może być niebezpieczne i gdy tylko zauważymy taką tendencję, przerywamy start. Sprawdzamy wzajemne ustawienie skrzydła i statecznika oraz ewentualnie zmniejszamy różnicę kątów,

nie za wiele jednak, aby nie przekroczyć skrajnego marginesu, który dla niesymetrycznego profilu skrzydła (NACA-2418) wynosi 0° , a dla symetrycznego profilu $1 \div 1,5^\circ$. Gdy to nie pomaga, zwiększamy nieco ujemny ciąg śmigła.

Gdy model oderwie się od ziemi, staramy się, jeśli to będzie potrzebne, utrzymać go w locie wznoszącym za pomocą krótkich impulsów steru wysokości aż wzniesie się dostatecznie wysoko. Wówczas pozostawiamy go przez chwilę swobodnie i obserwujemy reakcję. Prawidłowo wyregulowany model powinien lecieć poziomo i prosto. Dopuszczalne jest niewielkie wznoszenie. Nurkowanie jest niedopuszczalne i niebezpieczne; możemy je na razie skorygować trymerem steru wysokości, a po wylądowaniu usunąć przez zwiększenie różnicy kątów między skrzydłem i statecznikiem. Pamiętać trzeba, że po przestawieniu statecznika ster musi być z powrotem sprowadzony do położenia neutralnego. Samoczynną tendencję do zakręcania regulujemy tylko przez odchylenie silnika. Prawidłowe wyregulowanie modelu wymaga na ogół przeprowadzania wielu prób.

W pierwszych lotach ograniczamy się tylko do wykonywania płaskich zakrętów, które inicjujemy krótkim impulsem lotek lub steru kierunku. Zakręt zainicjowany lotkami na ogół trwa dalej i model musi być z niego wyprowadzony przeciwnym impulsem. Głębszy zakręt musi być podtrzymany sterem wysokości. Jeżeli model nie ma lotek, musi mieć większą stateczność poprzeczną (większy wznios skrzydła) i wykonanie zakrętu wymaga ciągłego impulsowania. Pamiętajmy jednak: impulsowanie, a nie trzymanie wychylonego steru. To samo dotyczy wszystkich sterów.

Po wykonaniu kilku zakrętów ustawiamy model bokiem do siebie i stopniowo dławimy obroty silnika. Po całkowitym zdławieniu obrotów model będzie stromo opadał, lecz nie powinien nurkować. Gdyby zjawisko takie zaistniało, należy lądować przy niezupełnie „zdławionym” silniku, a następnie zwiększyć różnicę kątów pomiędzy skrzydłem i statecznikiem i ewentualnie dodać ciągu w dół w celu skorygowania lotu silnikowego.

Jeżeli model wyposażony jest w trymer steru wysokości, to po zdławieniu silnika wychylamy za jego pomocą krótkimi impulsami ster do góry i staramy się osiągnąć możliwie płaski lot ślizgowy, uważając jednak, aby nie „przeciągnąć”, co może się zdarzyć, gdy wychylenia steru spowodowane trymerem są zbyt wielkie. Później, gdy model wylądowuje, ustawiamy mechanizm trymera w ten sposób, aby spowodowane w locie optymalne wychylenie do góry następowało przy jego pełnym skoku. Jeżeli model nie jest przeznaczony do pełnej akrobacji, trymer powinien zapewnić w jednym skrajnym położeniu — optymalny lot ślizgowy, a w drugim — lot poziomy z prędkością maksymalną. Przy modelach w pełni akrobacyjnych drugie położenie trymera powinno odpowiadać niewielkiemu wznoszeniu, w pozycji odwróconej (na plecach).

Lądowanie jest uproszczone, gdy model ma trymer steru wysokości. Podchodzimy wówczas do lądowania lotem ślizgowym przy zdławionym (lecz pra-

cującym) silniku i dopiero tuż przed przyziemieniem krótkimi impulsami steru wysokości staramy się wyrównać lot i posadzić model „na trzy punkty”, tak jak to robi pilot samolotu.

Przy braku trymera podchodzimy na nieco zwiększonych obrotach i dławimy je dopiero, gdy model jest na linii lądowania. Samo lądowanie wymaga ciągłego impulsowania steru wysokości, którego intensywność należy zwiększyć tuż przed przyziemieniem. Lądowanie bez trymera wymaga pewnej wprawy.

Największą trudność — oblatywanie — mamy już za sobą. Akrobacji nauczymy się dużo łatwiej.

Pętlę wewnętrzną model powinien wykonać przy pełnym wychyleniu steru wysokości. Rozpoczynamy z lotu poziomego — z wiatrem. Sygnał trzymamy prawie przez cały czas trwania figury. Zwalniamy na krótko przed dojściem modelu do położenia poziomego. Jeżeli pętla są zbyt rozwlekła, wychylenie steru trzeba powiększyć, a przy zbyt szybkich (szarpanych) pętlach — zmniejszyć.

Pętlę zewnętrzną (kabiną na zewnątrz) wykonuje się podobnie — przy pełnym wychyleniu steru w dół. Model musi mieć znaczny zapas wysokości, ponieważ pętla zewnętrzna są na ogół bardziej rozwlekłe niż wewnętrzne.

Wykonując obie figury należy zwracać uwagę na ich symetrię. Jeśli model zbacza z kursu lub uśiuguje w szczytowym punkcie pętli przejść półbeczką do lotu normalnego, jest to dowodem braku symetrii w konstrukcji lub obecności zwichrzeń. Może to być również spowodowane tym, że promienie zaokrąglenia krawędzi natarcia na obu połówkach skrzydła nie są jednakowe. Usunięcie tych wad jest kłopotliwe. Niewielkie niedokładności korygujemy minimalnym wychyleniem lotek.

Beczkę wykonuje się przy pełnym wychyleniu lotek. Przed jej rozpoczęciem, aby zapobiec obniżeniu się toru lotu podczas figury, dajemy krótki sygnał w górę, a następnie gdy model jest w pozycji odwróconej — sygnał w dół, zapobiegający dalszemu opadaniu. Wycofujemy lotki tuż przed dojściem modelu do położenia poziomego.

Do lotu plecowego wprowadzamy model początkowo z półpętli. Gdy model osiągnie szczytowe położenie w pętli, przerywamy figurę kilkoma impulsami steru wysokości w dół (odwrotne działanie). Następnie uruchamiamy trymer w skrajne dolne położenie. Model powinien przejść do lotu plecowego bez konieczności impulsowania sterem. Równowaga poprzeczna w locie plecowym jest na ogół zachwiana — wymaga poprawek za pomocą lotek.

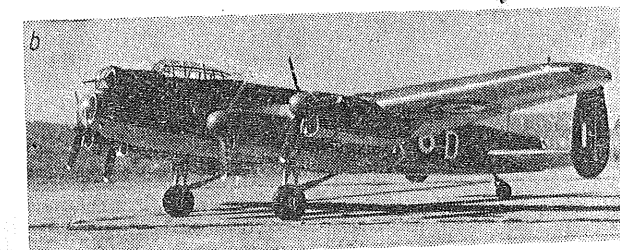
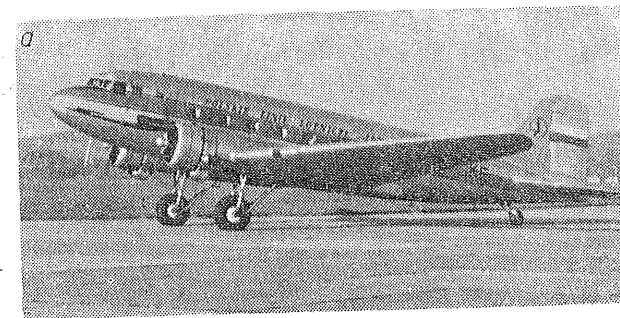
Wszystkie pozostałe figury akrobacji są kombinacją tych czterech podstawowych. Modelem zdalnie kierowanym można wykonać pełny program akrobacji samolotowej — wiązanki pętli, beczek, przewrót, ósemki poziome i pionowe, opadanie liściem, tzw. „ślizg na ogon” a nawet korkociąg. Jest to już jednak sprawa „wyższej szkoły jazdy” i treningu zawodniczego. Pełne jej omówienie przekracza ramy niniejszej książki.

Duże możliwości stwarza sterowanie proporcjonalne. Umożliwia ono wykonywanie bardzo efektywnych lotów, a zwłaszcza realistyczny start i lądowanie z „wyrznięciem” — tak jak na samolocie.

8

Budowa modeli wielosilnikowych to bardzo atrakcyjne zajęcie, a ich loty dostarczają dużej emocji. Miniaturowy samolot wielosilnikowy (rys. 8.1) najłatwiej można zrealizować jako model na uwięzi. Unika się dzięki temu większości kłopotów związanych ze statecznością kierunkową i poprzeczną. Nie jest to jednak proste przedsięwzięcie i na budowę takiego modelu może się zdecydować tylko ten, kto budował już przedtem inne modele, ma doskonale opanowany pilotaż i posiada odpowiednią liczbę sprawnych i dobrze wyregulowanych silników.

Można również zbudować wielosilnikowy model swobodnie latający, a nawet zdalnie kierowany. Jest to jednak przedsięwzięcie znacznie trudniejsze. Dzisiejszy wysoki poziom techniki zdalnego kierowania umożliwia całkowite opanowanie wielo-



Modele samolotów wielosilnikowych

silnikowego olbrzyma w locie swobodnym. Model taki jest już właściwie prawie samolotem. Budowa takich modeli, pomijając bardzo wielkie koszty, wymaga solidnego przygotowania teoretycznego i dużej praktyki z dziedziny projektowania, konstrukcji i pilotażu.

Wielosilnikowe modele na uwięzi

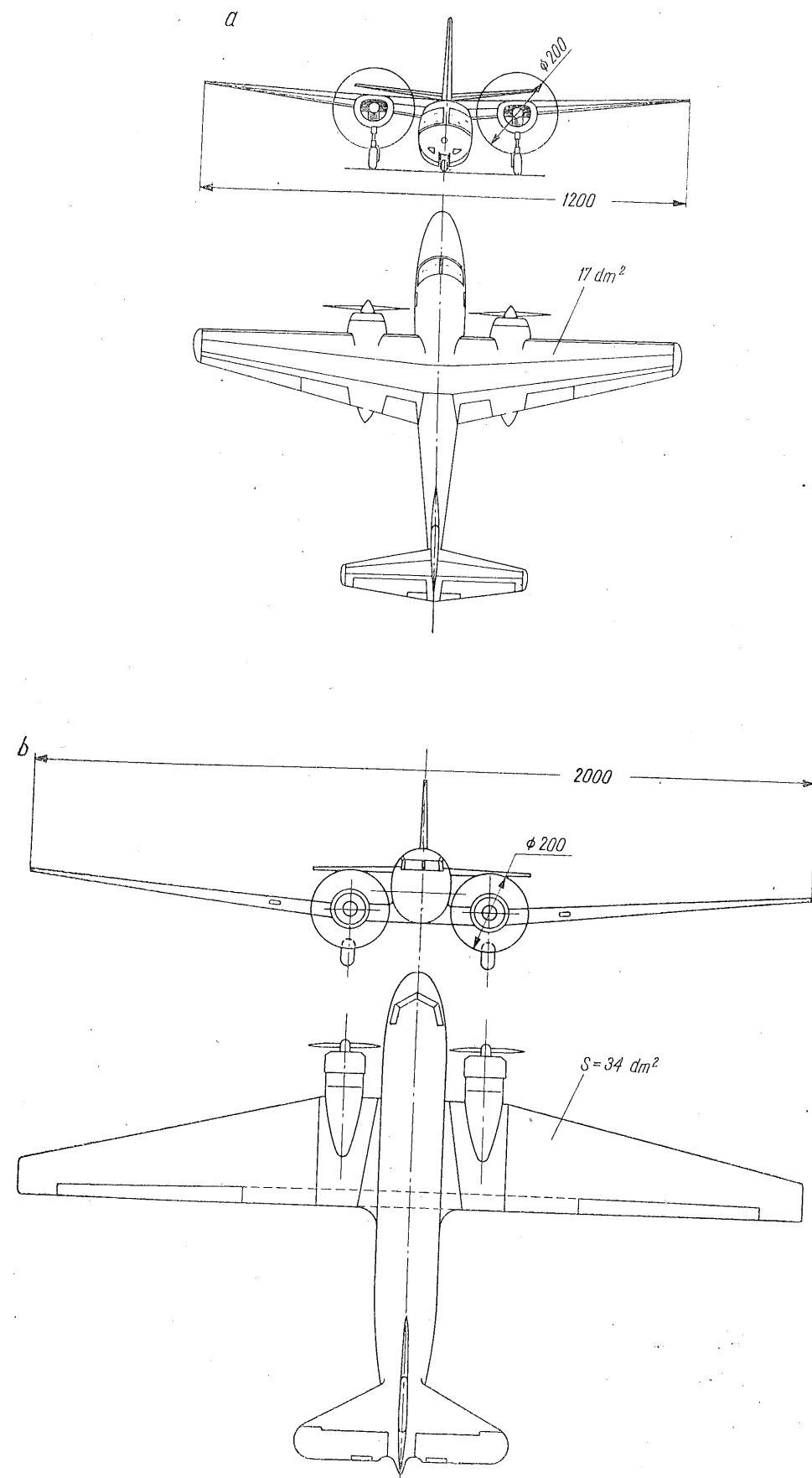
Wszystkie zagadnienia związane z projektem modelu, takie jak: dobór rozmiarów, dobór powierzchni nośnej, zapewnienie modelowi odpowiedniej stateczności i sterowności, będziemy rozwiązywali podobnie jak dla modeli jednosilnikowych.



8-1. Wielosilnikowe modele na uwięzi

a — model komunikacyjnego samolotu DOUGLAS DC-3, b — czterosilnikowy model samolotu AVRO LANCASTER — olbrzymi model olbrzymiego samolotu, c — model samolotu myśliwskiego P-37 LIGHTNING

(a, b, c, — foto autora)



wych, stosując się do zaleceń podanych w rozdziale 6. Wskazówki, które tam znajdziemy, uwzględniają bowiem również projektowanie modeli wielosilnikowych. Podane są tam proporcje dla modeli różnych samolotów, które należy dobierać zależnie od rodzaju samolotu oraz pojemności (mocy) silników napędowych.

Do napędu modeli wielosilnikowych można używać silników różnego typu i różnej wielkości — od najmniejszych do największych. Można na przykład zbudować małą model dwusilnikowy napędzany silnikami o pojemności po 0,5 cm³ i oblatywać go potem np. w sali gimnastycznej. Można również zbudować latającego olbrzyma na uwięzi, zaopatrując go w wielką liczbę największych i najmocniejszych silników.

Najkorzystniejsze jednak są silniki o umiarkowanej pojemności, rzędu 1,5 ÷ 2,5 cm³, pozwalające na zbudowanie modeli dwu- i więcej silnikowych. Kilka uwag trzeba poświęcić rodzajowi silników. U nas najbardziej popularne są silniki samozapłonowe. Można je używać do napędu modeli dwu-, a nawet czterosilnikowych. W przypadku kiedy zależy nam na szybkim rozruchu większej liczby silników, należy zastosować silniki o zapłonie żarowym, które umożliwiają zastosowanie rozrusznika oraz łatwiejszą i skuteczniejszą regulację prędkości obrotowej.

Projektując model wielosilnikowy należy również zwrócić uwagę na inne szczegóły, na przykład na średnicę śmigła. Samoloty wielosilnikowe bywają bowiem najrozmaitszego typu: począwszy od maszyn myśliwskich, które mają bardzo dużą średnicę śmigła w stosunku do swojej rozpiętości, a skończywszy na olbrzymich transportowcach, które mają śmigła proporcjonalnie bardzo małe. Pozornie sprawa bez znaczenia, a jednak bardzo ważna. Wyjaśnimy to na przykładzie.

Rysunek 8-2a przedstawia szkic samolotu AERO COMMANDER. Jeśli założymy, że do modelu będą zastosowane dwa silniki, o pojemności 2,5 cm³ napędzające dwułopatowe normalne śmigła o średnicy 200 mm, to przy zachowaniu proporcji podanych na rysunku rozpiętość modelu wyniesie około 1200 mm, a powierzchnia skrzydła 17 dm². Jak wynika z tablicy 6-1, jest to właściwy rozmiar dla modelu tego typu (łącznikowy ewentualnie szybki komunikacyjny). Może jednak zaistnieć sytuacja odwrotna, przedstawiona na rysunku 8-2b na przykładzie samolotu DOUGLAS DC-3, gdzie rozmiary samolotu są bardzo wielkie w stosunku do średnicy śmigła.

Gdyby i tutaj zastosować śmigła o średnicy 200 mm, wówczas model musiałby mieć olbrzymią rozpiętość 2000 mm, co jest niemożliwe, ponieważ moc silników o pojemności 2,5 cm³ byłaby niewystarczająca do napędu modelu o powierzchni około 34 dm².

Przy zastosowaniu właściwych rozmiarów modelu średnica śmigła dwułopatowego byłaby zbyt mała, a powiększyć jej nie można, ponieważ śmigła zaczepiałyby o kadłub. Jak z tego wynika, rozmiary modeli wielosilnikowych w znacznej mierze uzależnione są od właściwego doboru odpowiedniej średnicy i rodzaju śmigła do danego typu modelu. Trzeba więc, jeśli konieczne jest zmniejszenie średnicy śmigła, stosować większą liczbę łopatek lub poszerzone łopatki, chociaż w praktyce (zabezpieczenie przed połamaniem) korzystniej jest stosować zwy-

Tablica 8-1

Zależność średnicy śmigła od liczby i szerokości łopatek

Rodzaj śmigła	Liczba łopatek				
	2	3	4	5	6
	Względna średnica śmigła				
2-łopatkowe	1	0,93	0,88	0,84	0,82
3-łopatkowe	1,07	1	0,95	0,90	0,88
4-łopatkowe	1,13	1,06	1	0,95	0,93

Średnica śmigła o łopatkach poszerzonych o 50%: $D_{posz} = 0,85 D_{wzgl}$.

czne śmigła dwułopatkowe (tabl. 8-1). Dla naszego przykładu istnieje np. możliwość zmniejszenia średnicy śmigła z 200 do 160 mm przy zastosowaniu śmigła trzyłopatkowego o poszerzonych łopatkach. Rozpiętość modelu zmniejszy się wówczas do 1600 mm, a powierzchnia do 22 dm². Są to już wielkości do przyjęcia.

Projektując model wielosilnikowy trzeba ponadto zwrócić uwagę na właściwy dobór profilu skrzydła, który powinien odznaczać się dużą siłą nośną oraz dostateczną grubością. W samolotach komunikacyjnych stosuje się bowiem na ogół bardzo grube profile — 15-, 18- i więcej procentowe. Projektując model nie należy zmniejszać grubości profilu, lecz zastosować taką grubość, jak w samolocie.

Gruby profil jest dla nas korzystny, ponieważ ułatwia zbudowanie odpowiednio wytrzymałego skrzydła. Do modeli na uwięzi stosuje się profile typu NACA-23015, 23018, 23021 itp., których dane można znaleźć w rozdz. 15. Stosuje się również grubsze profile typu Clark-Y, zwłaszcza do modeli o dużym obciążeniu powierzchni skrzydła.

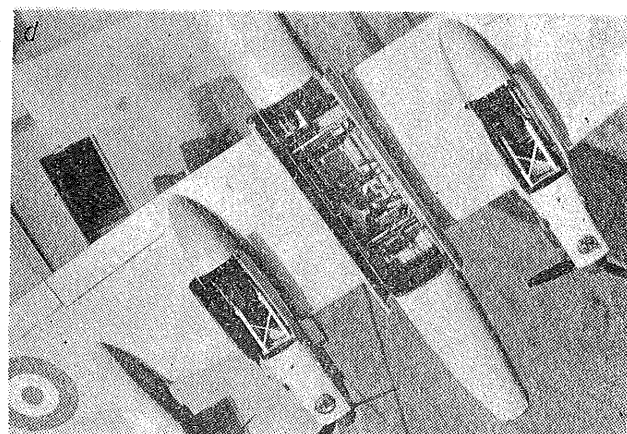
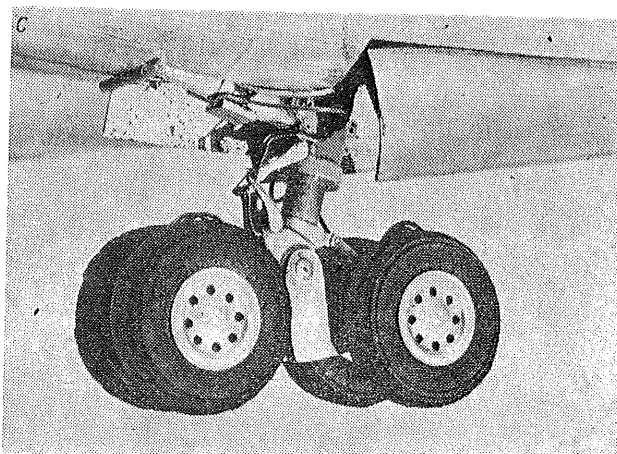
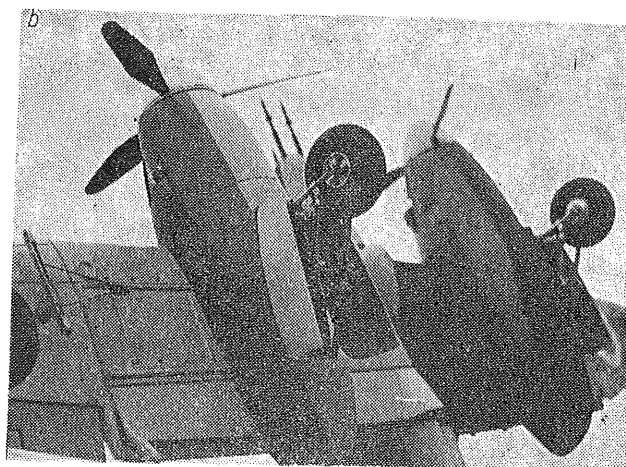
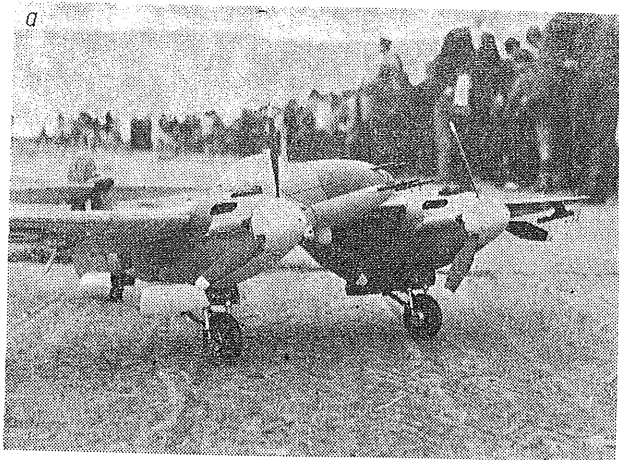
Konstrukcja modeli wielosilnikowych

Konstrukcja modeli wielosilnikowych podobna jest w ogólnych zasadach do konstrukcji modeli jednosilnikowych, którą już poznaliśmy poprzednio. Rozwiązania konstrukcyjne i tu, i tam można stosować podobne. Takie same zasady konstruowania skrzydeł, stateczników i kadłubów. Gondole silnikowe też można uznać za swojego rodzaju kadłub i dostosować do nich jedną z poznanych metod konstrukcyjnych.

Różnica tkwi więc nie w zasadach konstruowania, ale w znacznie większej odpowiedzialności konstrukcji modelu wielosilnikowego. Na czym polega ta zwiększona odpowiedzialność, postaramy się krótko wyjaśnić.

— Modele wielosilnikowe są na ogół znacznie większe od modeli jednosilnikowych. Konstruktor, musi więc dysponować o wiele większym zasobem środków — mieć kilka silników, znacznie więcej materiału, i to głównie balsy.

— Konstrukcja modeli wielosilnikowych, oprócz tego, że większa rozmiarami, jest bardziej rozbudowana i skomplikowana. Dochodzą gondole, ich zamocowanie, podwozie nieraz wielokołowe i w związku z tym budowa modelu pochłania o wiele więcej czasu (rys. 8-3).



- Model wielosilnikowy jest ciężki, działają nań znaczne siły — szczególnie przy lądowaniu. Jeśli więc model lekki w przypadku nieudanego lądowania odbije się i podskoczy, robiąc tzw. „kangur”, to ciężki model wielosilnikowy może ulec poważnemu uszkodzeniu. Uszkodzenie jednego elementu, na przykład podwozia, pociąga za sobą dalsze szkody — konstrukcja wymaga więc bardziej wnikliwego, odpowiedzialnego opracowania, aby mogła sprostać zwiększonym wymaganiom. To samo dotyczy pilotażu, który musi być bardziej precyzyjny.
- W modelach wielosilnikowych na szeroką skalę znajdują zastosowanie różne mechanizmy powiększające atrakcyjność modelu. Stosuje się na przykład mechanizmy chowania i wypuszczania podwozia, sterowania silników, klap skrzydłowych, hamulce na koła i wiele innych. Skonstruowanie odpowiednio niezawodnych, a przy tym lekkich mechanizmów oraz ich wykonanie wymaga już dużych umiejętności zarówno z dziedziny teoretycznej, jak praktycznej.

Ogólny wniosek z tego jest taki: model wielosilnikowy z racji swoich rozmiarów, ciężaru i skomplikowania mechanizmów jest podobny w eksploatacji do prawdziwego samolotu i w ten sposób należy go traktować. Nawet małe zaniedbanie, lekkomyślność w obsłudze lub pilotażu może się srodcie zemścić rozbiciem cennego modelu, który kosztował tyle trudu. Modele wielosilnikowe pięknie latają, mogą dostarczyć niezapomnianych emocji swoim wykonawcom, jednak za piękne przeżycie trzeba płacić solidnym, systematycznym przygotowaniem. Trzeba zacząć od modeli prostych, a później brać się do mechanizacji. Pod tym kątem omówimy niektóre problemy konstrukcyjne.

Zaczynamy od ogólnej koncepcji. Dużo zależy od właściwego wyboru samolotu, którego model chcemy zbudować. Oprócz względów takich, jak stateczność i sterowność wybranego samolotu jako modelu, zasadniczym warunkiem, który powinien decydować o wyborze, powinna być możliwość rozwiązania konstrukcji modelu sposobem jak najprostszym. Bierzemy pod uwagę następujące czynniki: liczbę i pojemność silników napędowych, prostotę kształtu samolotu, sposób demontażu modelu.

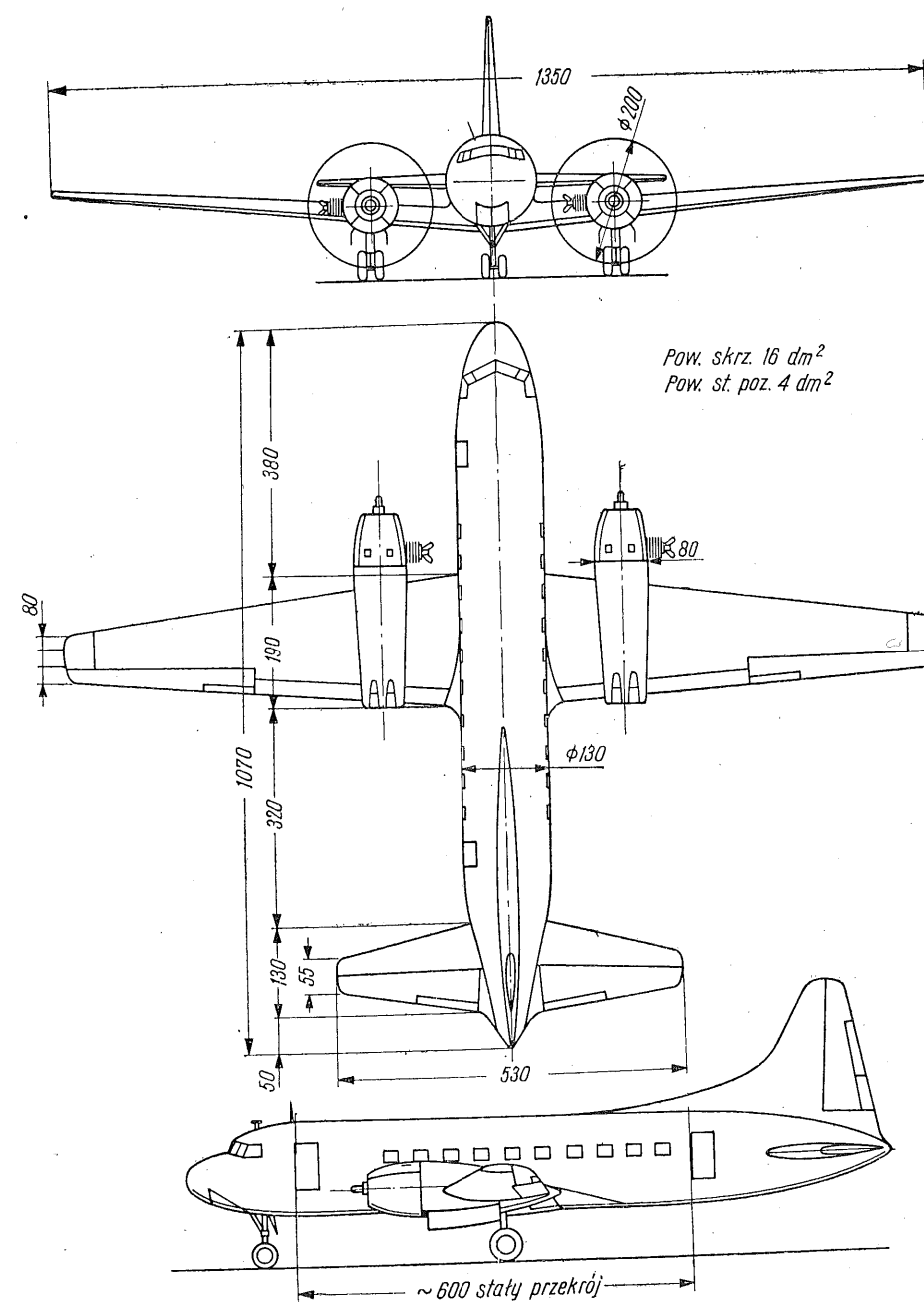
Liczba i pojemność silników napędowych. Układ dwusilnikowy jest oczywiście najprostszym tak ze względów konstrukcyjnych oraz eksploatacyjnych, jak i ze względu na koszty. Powinni go stosować przede wszystkim ci, którzy po raz pierwszy budują model wielosilnikowy. Im mniejsza pojemność silników, tym mniejszy model, mniejsze zużycie materiałów i możliwość zastosowania prostych metod konstrukcyjnych, np. konstrukcji dłubanej z klocka. Mniejsze jest również niebezpieczeństwo uszkodzenia. Z tego względu na początek lepiej stosować nieduże silniki o pojemności maksimum 2,5 cm³ każdy.

8-3. Szczegóły konstrukcji wyposażenia modeli wielosilnikowych

a — zmechanizowany i bogato wyposażony model samolotu szturmowego WESTLAND WHIRLWIND, b — mechanizacja skrzydła i uzbrojenie w modelu samolotu LIGHTNING, c — skomplikowane podwozie czterokołowe (BRISTOL BRITANNIA). Części podwozia odlewane ze stopu lekkiego. Teleskopowa amortyzacja, d — luki bombowe i wyrzutniki bomb w modelu AVRO LANCASTER (a÷d — foto autora)

Prostota kształtów samolotu. Najłatwiej jest wykonać model samolotu, którego kadłub ma przekrój prostokątny lub zbliżony do prostokątnego — taki jak np. samoloty AERO COMMANDER, NORTH AMERICAN MITCHELL, VICKERS, WELLINGTON itp. Konstrukcja tego typu jest również prosta do zrealizowania w dużym lotnictwie i wiele samolotów II wojny światowej miało właśnie takie kształty. Jeżeli do tego dochodzi proste osadzenie (brak przejść) skrzydeł i stateczników o nieskomplikowanym obrysie, powinniśmy być zadowoleni z wyboru. Jeżeli decydujemy się na wybór samolotu o bardziej skomplikowanych kształtach, trzeba i tu wybrać kształt możliwie najłatwiejszy do wykonania. Na przykład wśród wielu samolotów o owalnym przekroju kadłuba znajdują się takie, które mają kadłub okrągły, cylindrycznego kształtu o niezmiennym przekroju na znacznej długości. Takie kształty ma wiele nowoczesnych samolotów komunikacyjnych,

a m.in. również samolot CONVAIR LINER 240 eksploatowany swego czasu przez nasz LOT. Szkic modelu tego samolotu wymiarowany do zastosowania silników 2,5 cm³ pokazany jest na rysunku 8-4. Samolot ten jako model ma również wiele innych korzystnych cech, jak: nieskomplikowane przejście skrzydła w kadłub i gondoli w skrzydło, dużą średnicę śmigieł umożliwiającą zastosowanie zwykłych śmigieł dwułopatowych, dużą powierzchnię statecznika poziomego, obszerne gondole umożliwiające ukrycie silników modelarskich itp. Kilka słów trzeba poświęcić podwoziu. Mimo że podwozie trójkółowe z kółkiem nosowym nie jest prostsze od dwukołowego, należy raczej zdecydować się na podwozie trójkółowe. Jest to związane z wyważeniem modelu na uwięzi, które przypada w okolicy krawędzi natarcia skrzydła (rys. 8-5, odległość a). W tej płaszczyźnie znajdują się przeważnie koła samolotów o normalnym podwoziu i, jeżeli kółka nie zostaną wysunięte znacznie



8-4. Szkic modelu samolotu CONVAIR LINER 240 (wymiary dla 2 silników 2,5 cm³)

do przodu, równowaga modelu będzie zachwiana. Aby uchronić konstrukcję od połamania, zwłaszcza podczas pomyłki w lądowaniu, należy stosować kółko nosowe.

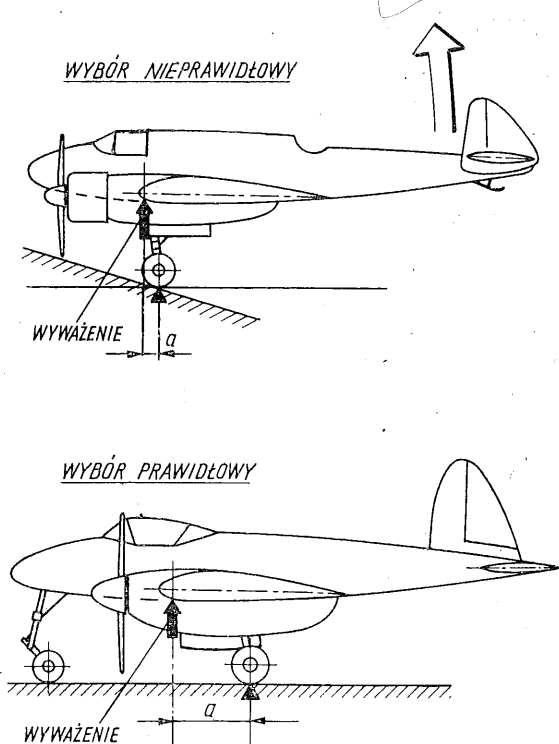
W koncepcyjnej fazie projektowania trzeba się również zdecydować, jak rozwiązać problem demontażu modelu, ponieważ od tego zależą inne rozwiązania konstrukcyjne. Istnieją trzy możliwe rozwiązania, pokazane na rysunku 8-6. Najprostsze i najlepsze rozwiązanie to odejmowanie całego płata wraz z silnikami (rys. 8-6a); nie traci się wtedy na wytrzymałości i ciężarze połączeń. Sposób ten można stosować jedynie wtedy, gdy model jest dolnopłatem lub górnopłatem. Sposób pokazany na rysunku 8-6b ma tę zaletę, że nie narusza centropłata i umożliwia zbudowanie sztywnego i mocnego, a przy tym lekkiego połączenia kadłuba i gondoli ze skrzydłami. Zastosowanie tego rozwiązania jest szczególnie korzystne, jeżeli rozpiętość centropłata w stosunku do rozpiętości całego modelu jest nieduża. Sposobu pokazanego na rysunku 8-6c nie należy polecać, jest on niekorzystny pod względem wytrzymałości i ciężaru, wymaga dobrze obmyślanych i bardzo mocnych połączeń. W niedużych modelach można w ogóle zrezygnować z demontażu i budować model w jednej całości. Model będzie lekki, lecz niepraktyczny w transporcie i trudny do naprawy.

Modele samolotów wielosilnikowych można budować w różnym stopniu podobieństwa zależnie od umiejętności i możliwości materiałowych.

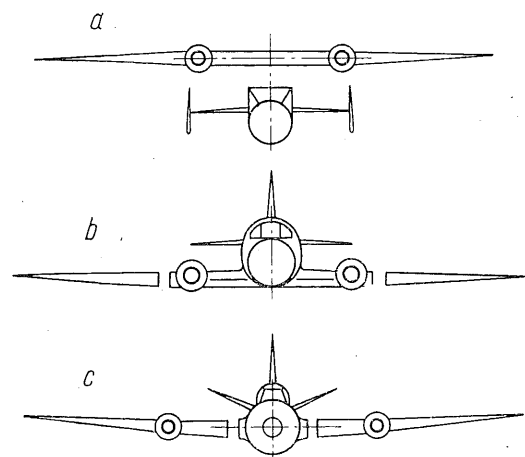
Będziemy budowali przede wszystkim modele najprostsze, wyposażone w stałe podwozie, często nierozbieralne i pozbawione wewnętrznego wyposażenia i automatyzacji. Gdy nabierzemy wprawy na prostym modelu, będziemy mogli lepiej wyposażać następny model, już z mniejszym ryzykiem.

Z konkretnych zagadnień konstrukcyjnych bardzo ważne jest prawidłowe pod względem wytrzymałości rozwiązanie połączenia kadłub — skrzydło — gondole — podwozie. Podwozie główne modeli wielosilnikowych z zasady umieszczone jest pod skrzydłami. Kiedy model ląduje, cała siła zetknięcia się z ziemią przenosi się poprzez podwozie i gondole na skrzydło, które ulega zginaniu i skręcaniu jednocześnie (rysunek 8-7). Jeżeli połączenie nie jest dobrze zaprojektowane i wykonane, to podczas ostrego lądowania, a takie zdarzają się nierzadko, jakiś element nie wytrzyma, złamie się lub urwie, zaś model skapota i może ulec poważnemu uszkodzeniu. Zazwyczaj łamie się skrzydło, a to jest szkoda bardzo trudna do naprawienia. Aby uniknąć takich przykrych „niespodzianek”, trzeba całą konstrukcję dobrze przemyśleć. Oczywiście, nie istnieje konstrukcja, która wytrzyma każde uderzenie, jednak nie można dopuścić do tego, aby zniszczeniu uległy najistotniejsze elementy. Kolejność ewentualnych „zniszczeń” przy prawidłowej konstrukcji powinna być taka: wskutek zbyt silnego uderzenia gną się golenie podwozia, jeszcze silniejsze uderzenie może spowodować ich wyłamanie, uszkodzenie gondoli, złamanie śmigła itp., a dopiero potem ma prawo złamać się skrzydło.

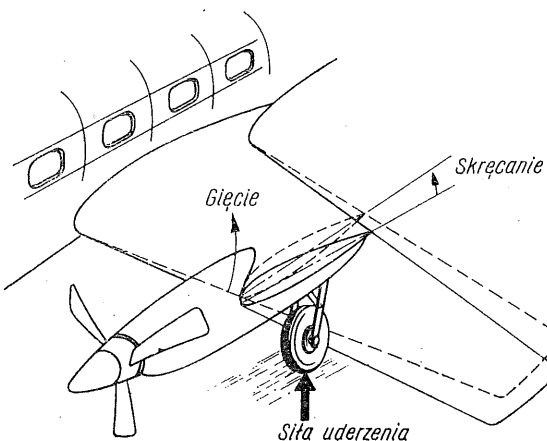
Klasyczną zasadą konstrukcji typowego połączenia wyjaśnia rysunek 8-8. Skrzydło ma gruby profil umożliwiający zastosowanie wysokich dźwigarów



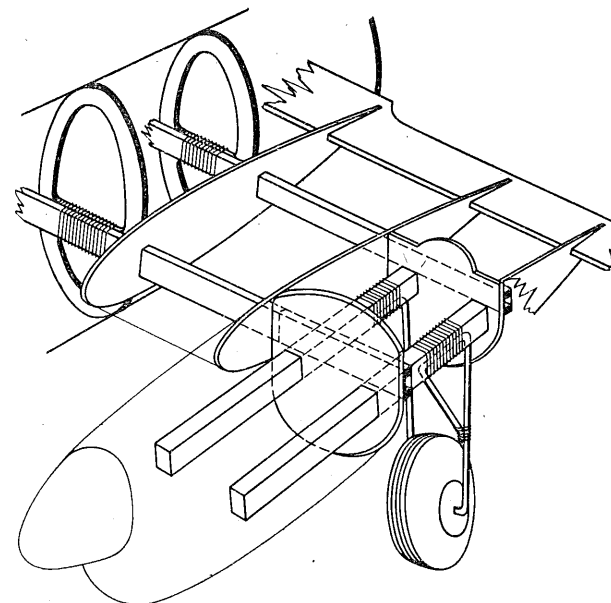
8-5. Układ podwozia decyduje o równowadze modelu na ziemi



8-6. Różne schematy demontażu skrzydeł modelu wielosilnikowego



8-7. Obciążenie skrzydła modelu wielosilnikowego podczas lądowania

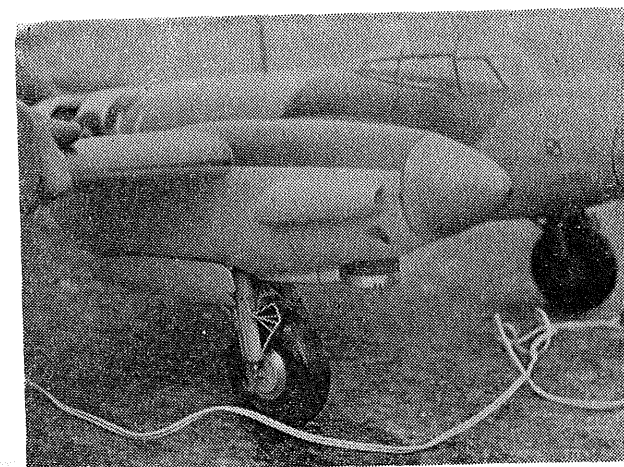


8-8. Podstawowa konstrukcja połączenia kadłuba z gondolą w modelu dwusilnikowym

w liczbie co najmniej dwóch. Dzięki swojej wysokości są one bardzo odporne na zginanie. Szerokie rozstawienie dźwigarów zapewnia natomiast sztywność i wytrzymałość skrzydła na skręcanie. Aby dźwigary były lekkie i mocne, należy je wykonać w formie skrzynek, metodą opisaną na str. 81. Bardzo często stosuje się dźwigary wykonane z metalu (z duraluminium lub z elektronu.) Oczywiście, oprócz dźwigarów, inne elementy skrzydła jak krawędzie, żeberka i pokrycie również przenoszą część sił działających na skrzydło, jednak zasadniczym elementem wytrzymałościowym są w tym rozwiązaniu dźwigary.

Przebieg montażu połączenia jest następujący. Dźwigary przyklejamy do głównych wręg kadłuba. Aby wzmocnić połączenie, można poszerzyć wręgi w miejscu przyklejenia dźwigara, stosując występy, do których można nawet dźwigar przywiązać lub wkleić pomiędzy dwie cieńsze wręgi. Teraz można nałożyć żeberka i zmontować odcinki skrzydeł pomiędzy gondolami.

Jeśli konstrukcja kadłuba pozwala, można montować skrzydło oddzielnie. Najważniejszy element gondoli — łożo silnikowe osadzamy w otworach



8-9. Przykład skorupowej gondoli silnikowej w modelu samolotu D.H. MOSQUITO (foto autora)

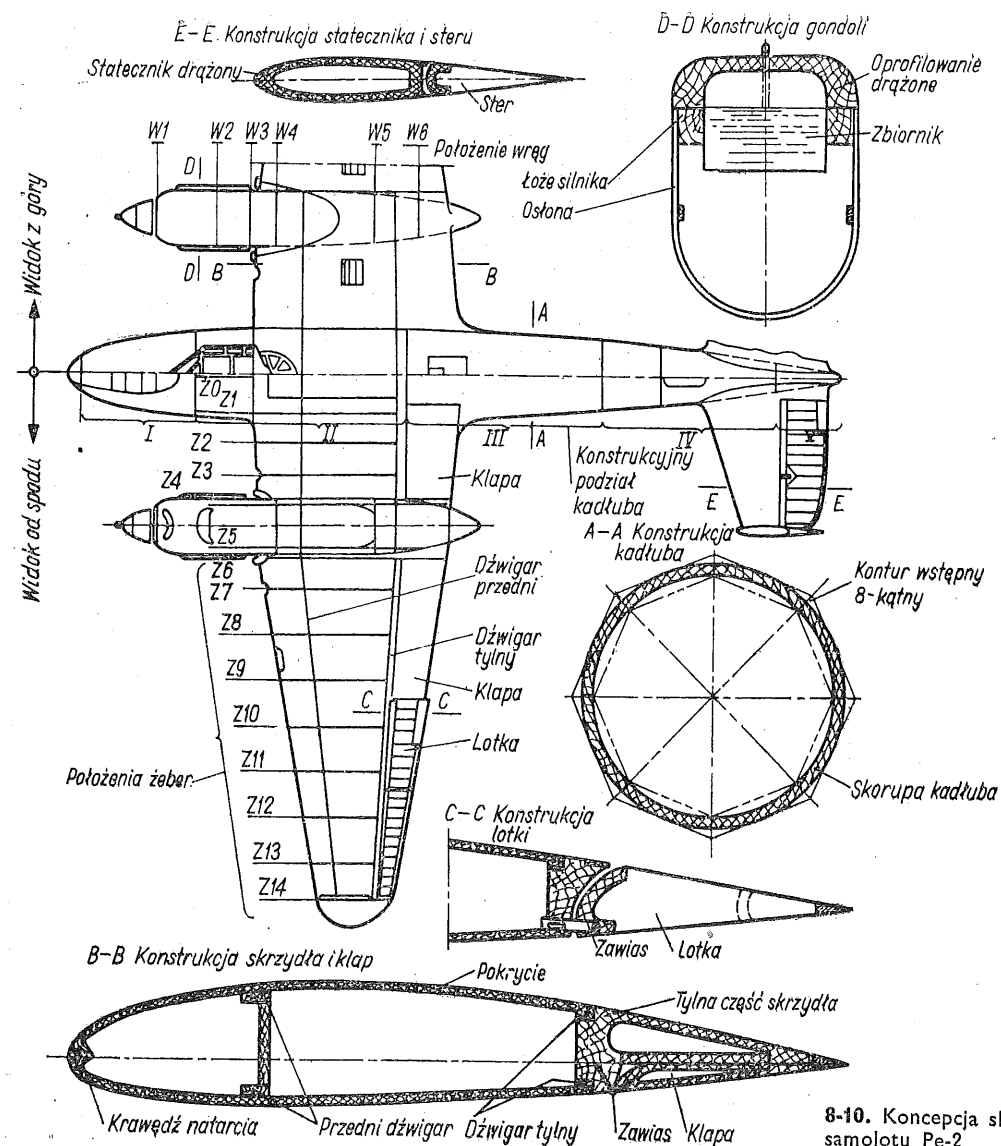
wręg, przyklejonych do dźwigarów skrzydła. Do beleczek łoża silnikowego zamocowujemy golenie podwozia głównego, wykonane z drutu stalowego. Wszystkie więc siły od silnika i od podwozia przenoszone są przez belki łoża silnikowego. Pozostała konstrukcja gondoli ma już mniejsze znaczenie wytrzymałościowe i może być wykonana różnymi sposobami tak, aby został zachowany kształt przy jak najmniejszym ciężarze. Najczęściej stosuje się konstrukcję mieszaną.

Opisane metody konstrukcyjne mają charakter klasyczny. W konstrukcji przeważają wręgi, żeberka, dźwigary i podłużnice. To są zasadnicze elementy wytrzymałościowe. Pokrycie modelu może być elastyczne (papierowe, płócienne), choć ze względu na wygląd pożądana byłaby skorupa (rysunek 8-9). W przypadku owalnych przekrojów kadłuba i gondoli, jeżeli nie mamy z czego zrobić skorupy, można stosować konstrukcję wręgową, oprofilowaną wielką liczbą gęsto ułożonych listewek i oklejona papierem, lub konstrukcję ze styropianu.

Jeżeli dysponujemy dużą ilością balsy, możemy sobie pozwolić na konstrukcję o wręcz przeciwnym charakterze — całkowicie skorupową, pozbawioną wręg, dźwigarów i podłużnic. Kadłub i gondole można wykonać jako drażnioną z klocków balsowych, skrzydło bezdźwigarowe o grubym pracującym pokryciu. Całość montuje się przez sklejenie ze sobą dobrze dopasowanych elementów. Łoże silnikowe umożliwiające boczne zamocowanie silników wykonane jest wprost w materiale gondoli i ma jedynie sklejkowe wzmocnienie jako zabezpieczenie przed zgniataniem balsy. Podwozie przymocowane jest do sklejkowej płytki i zaklejone w gondoli. Konstrukcja tego typu nadaje się do niewielkich modeli o smukłych kadłubach, na przykład modeli myśliwców dwusilnikowych i lekkich bombowców (jak D.H. MOSQUITO, Pe-2); koncepcję zrealizowania tej zasady w modelu samolotu Pe-2 ilustruje rysunek 8-10.

Przedniego, nosowego podwozia również nie należy lekceważyć. W przypadku nieudanego lądowania, ono przejmuje na siebie pierwsze uderzenie. Zamocowanie trzeba dobrze związać z konstrukcją kadłuba w ten sposób, aby golenie podwozia mogły się zgiąć pod naporem siły, nie wyłamując się jednak z kadłuba. Z tego powodu nie należy przeszytywać przednich goleni. Kilka najprostszych rozwiązań pokazano na rysunku 8-11. Można również stosować amortyzację sprężynową lub golenie teleskopowe (rys. 8-12).

Zamocowanie silnika w modelu wielosilnikowym jest również bardzo ważne. Silniki mocuje się przeważnie w pozycji cylindrem do góry lub na bok — na zewnątrz kręgu. Pozycja odwrócona jest niewygodna ze względu na trudny dostęp do śruby kompresyjnej lub do świecy oraz możliwość uszkodzenia silnika podczas wypadku. Takie ustawienie silnika stosuje się jedynie w wyjątkowych przypadkach, jeżeli nie można ukryć silnika w innym położeniu, np. w modelach samolotów z silnikami rzędownymi, jak AVRO LANCASTER (rys. 8-13). Silniki montuje się przeważnie na sztywnych łożach beleczkowych. Można stosować również inne rodzaje zamocowań, np. łoża sklejkowe nadające się specjalnie do zastosowania w gondolach silników rzędownych. Łatwo je powiązać z dźwigarami skrzy-



8-10. Koncepcja skorupowej konstrukcji modelu samolotu Pe-2

dła, a dodatkowo można je nawet wykorzystać jako boczne ścianki gondoli. Silnik przykręca się wtedy do bocznych ścianek za pośrednictwem aluminiowych kątowników.

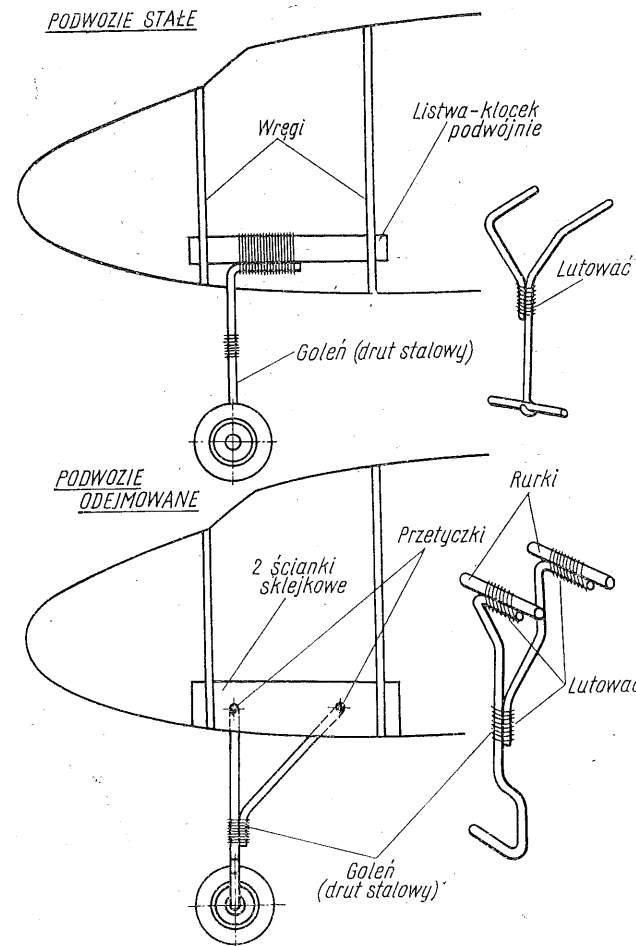
Zasilanie silników w modelu na uwięzi powinno być oddzielne dla każdego silnika. Centralnego zasilania nie stosuje się ze względu na trudności związane z istnieniem siły odśrodkowej. Każdy silnik należy zaopatrzyć w oddzielny zbiornik o odpowiedniej objętości. Zbiorniki ustawia się zgodnie z ogólnymi zasadami dla modeli na uwięzi (patrz str. 129). Ważne jest, ze względu na łatwość rozruchu, aby poziom paliwa w zbiorniku był na wysokości dyszy gaźnika. Ten warunek powinien być spełniony dla napełnionych zbiorników i postojowej pozycji modelu. Wlew paliwa powinien być łatwo dostępny (konieczność szybkiego dopełnienia zbiornika), zaś przelew wyprowadzony na zewnątrz i dobrze widoczny (aby było widać, kiedy zbiornik jest napełniony).

Demontaż modelu wielosilnikowego dotyczy głównie skrzydeł. Omówimy dwie zasadnicze metody. Pierwszy sposób polega na odejmowaniu końcówek skrzydeł poza gondolami. Połączenie można rozwiązać stosunkowo prosto za pomocą bagnetów.

Sprawa się bardzo upraszcza, jeżeli konstrukcja skrzydeł jest dwudźwigarowa, taka jak na rysunku 8-8, a dźwigary są skrzynkowe. Można wówczas wetknąć bagnety wprost w skrzynki dźwigarów. Jeżeli konstrukcja skrzydeł jest inna, trzeba przewidzieć oddzielne skrzyneczki na bagnety. Najlepiej stosować połączenie dwubagnetowe. Skrzydła trzeba koniecznie zabezpieczyć przed rozsuwaniem się.

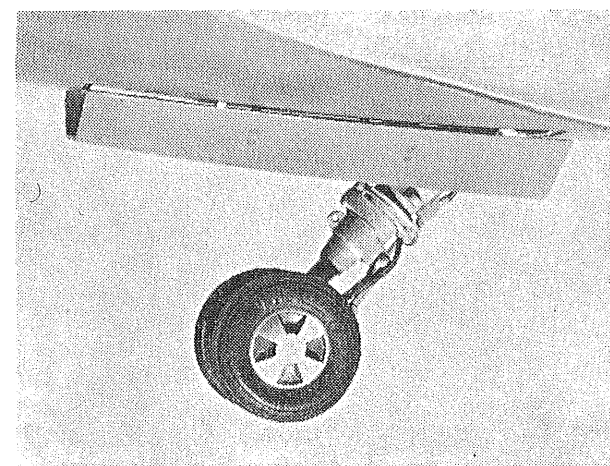
Drugi sposób umożliwia odjęcie całego niedzielnego skrzydła wraz z gondolami i silnikami. Skrzydło można zamocować bądź na stałe (rysunek 8-14a), bądź elastycznie (rysunek 8-14b). Stałe zamocowanie uzyskuje się przez przykręcenie skrzydła do kadłuba za pomocą jednej lub dwóch śrub. Nakrętki należy umieścić w kadłubie. Ważne jest, aby konstrukcja skrzydła i kadłub w miejscu zamocowania śruby i nakrętki były odpowiednio wzmocnione. Zamocowanie elastyczne polega na docięnięciu skrzydła do kadłuba za pomocą odpowiednio dobranych pasm gumy ukrytych w kadłubie. W obu przypadkach skrzydło musi być dobrze zabezpieczone przed przesunięciem się przez zastosowanie kołków ustalających.

Konstruując model wielosilnikowy mamy okazję

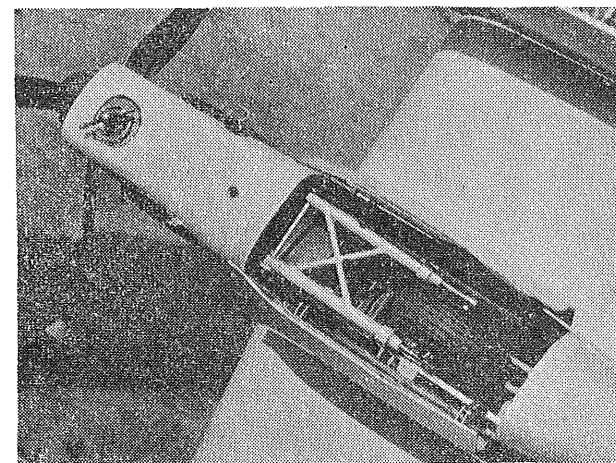


8-11. Najprostsze rozwiązania „nosowego” podwozia

do zastosowania wielu nietypowych rozwiązań, np. przy skrzydle. Gdy skrzydło jest cienkie i długie, a nie dysponujemy dużą ilością balsy na skorupową konstrukcję, to wówczas z konieczności musimy zastosować konstrukcję wielodźwigarową. Podobnie z kadłubem — zbudowanie skorupowego, balsowego kadłuba, np. do modelu CONVAIR 240, wymaga wielkiej ilości balsy. Na samo pokrycie kadłuba o średnicy 130 mm i długości 1080 mm potrzeba 40 listewek $2 \times 100 \times 1100$ mm.



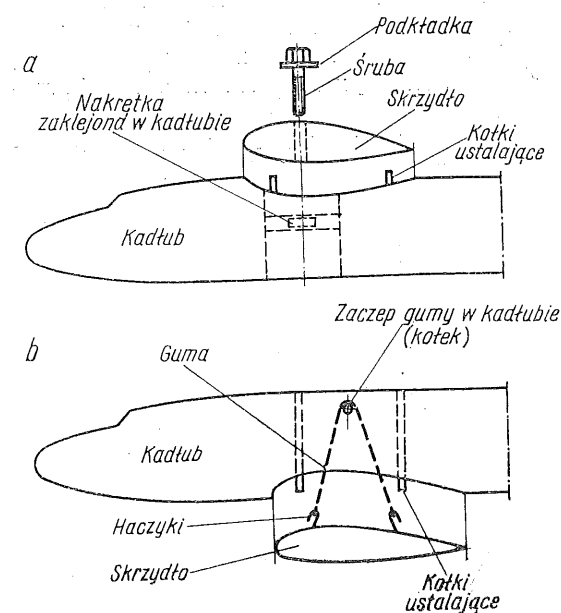
8-21. Teleskopowa chowana goleń nosowego podwozia, (foto autora)



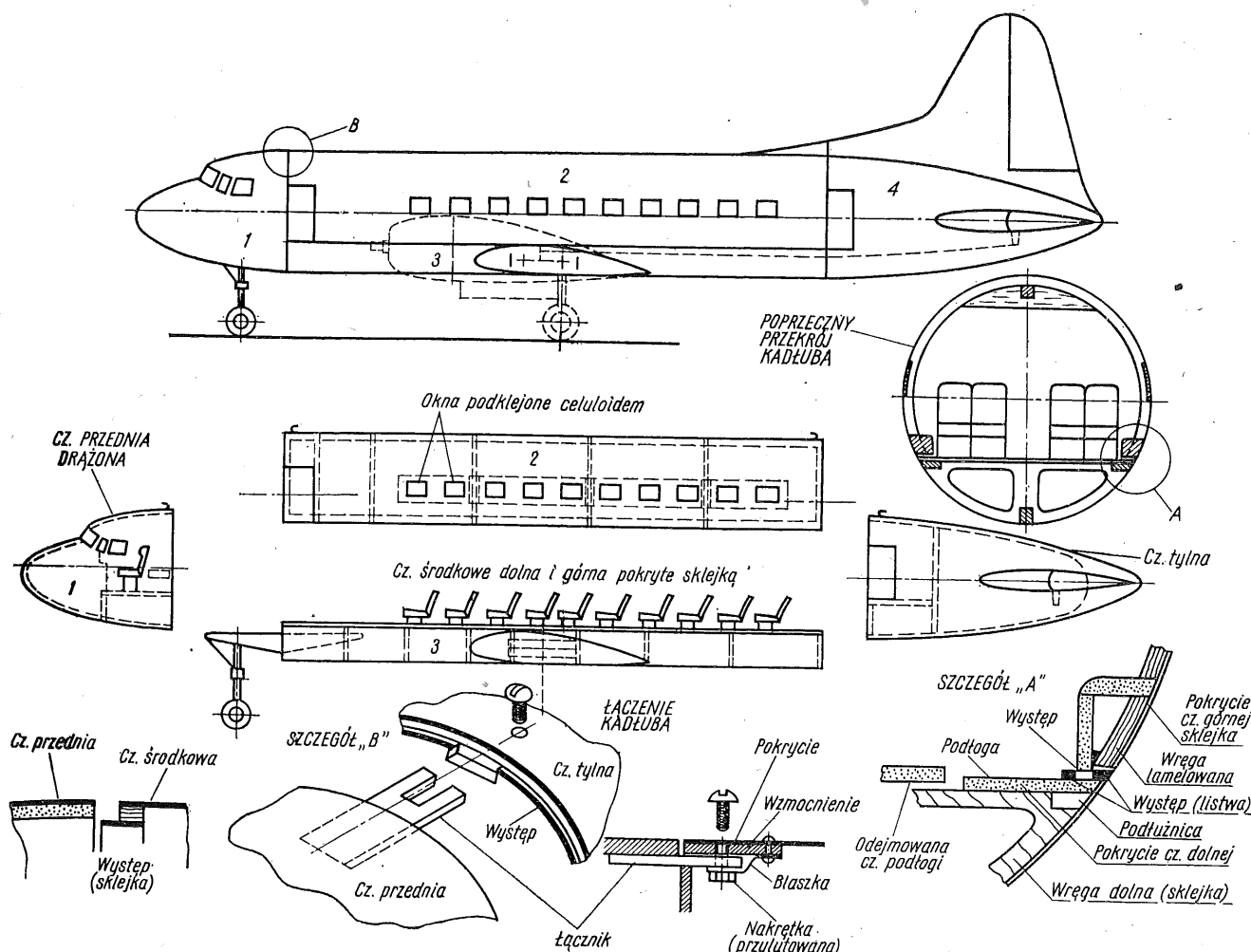
8-13. Oprofilowanie silników zamocowanych w pozycji odwróconej (foto autora)

W takiej sytuacji zmuszeni jesteśmy szukać nowych nieszablonych rozwiązań. Przykład takiej konstrukcji mamy na rysunku 8-15. Kadłub CONVAIR'a został podzielony na trzy zasadnicze części: przednią, środkową i tylną. Część przednia i tylna mają przekrój zmienny. Część środkowa jest cylindryczna i dodatkowo została podzielona wzdłuż linii podłogi kabiny pasażerskiej na dwie części — dolną i górną.

Najważniejszym elementem jest dolna część środkowa. Ma ona wręgową konstrukcję, wzmocnioną podłużnicami i oklejoną sklejką o grubości $0,6 \div 0,8$ mm. Po przyklejeniu podłogi tworzy się sztywna, bardzo mocna i lekka skorupa. Z konstrukcją części dolnej związane jest zamocowanie skrzydeł. Łatwy dostęp gwarantuje solidne wykonanie połączenia oraz zamocowanie przedniego podwozia umieszczonego na specjalnym wysięgniku. Wszystkie więc siły od podwozia, silników i skrzydeł przenosi tylko ta część kadłuba i dlatego pozostałe elementy mogą być wykonane bardzo lekko.



8-14. Sposoby zamocowania niedzielnego skrzydła do kadłuba

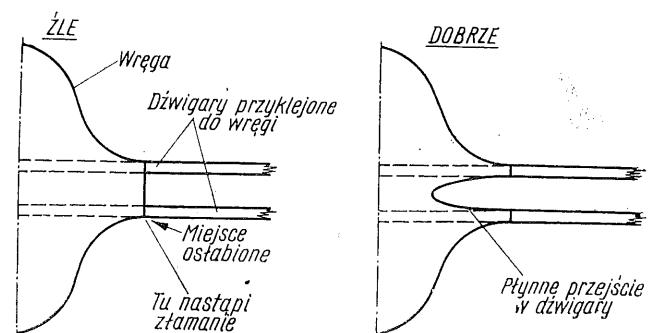


8-15. Oryginalna konstrukcja kadłuba modelu samolotu CONVAIR 240

Górną część środkową tworzy szkieletowy szkielet wyręgowy oklejony cienką sklejką 0,6 mm. Jeżeli kabina ma być wyposażona, wyręgi można wykonać bardzo delikatnie — jako lamelowane z listewek. Obie części środkowe można wygodnie montować na desce.

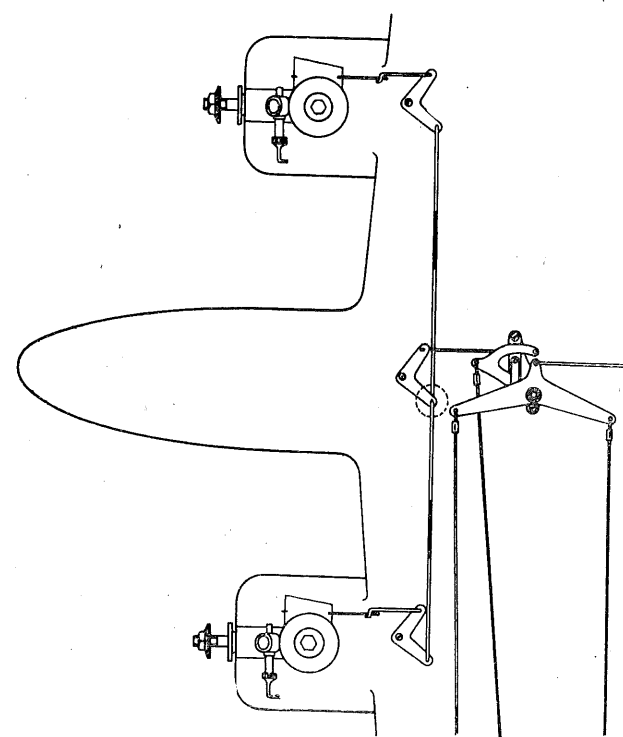
Części przednią i tylną można wykonać różnymi metodami stosując: cienkościenną bezwyręgową konstrukcję drażoną, skorupę z masy papierowej, konstrukcję klepkową z balsy lub konstrukcję styropianową.

Łatwy dostęp do wnętrza kadłuba umożliwia wyposażenie wnętrza, które można wykonać z najdrobniejszymi szczegółami. Dostęp można sobie zapewnić stosując proste połączenie wszystkich części za pomocą śrub lub gumy. Przed rozsuwa-

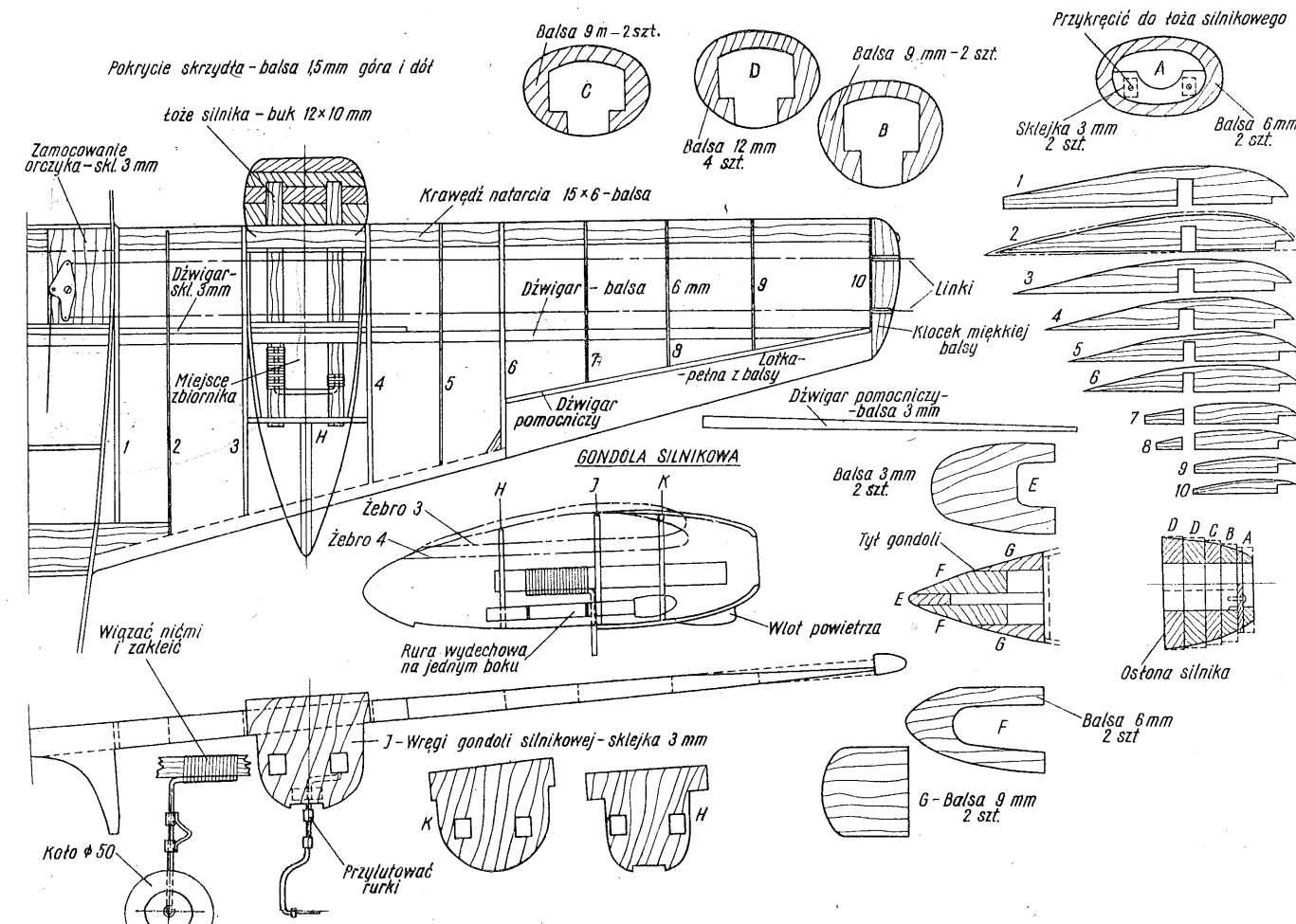
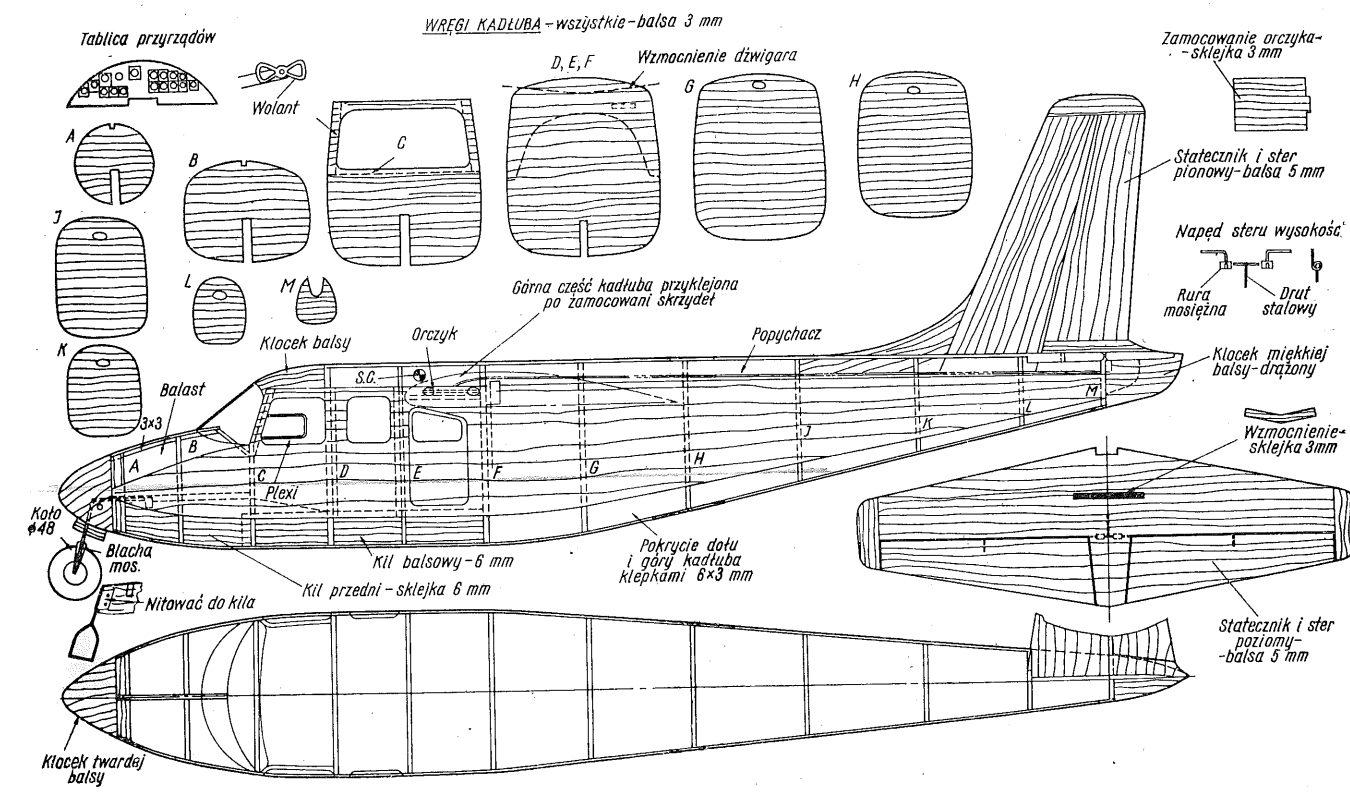


8-16. Zasada konstruowania połączeń i wzmocnień

niem się połączeń zabezpieczają specjalne występy. Jest to idealne rozwiązanie dla modelu zmechanizowanego, umożliwiające łatwy montaż i dostęp do mechanizmów, które można umieścić pod odejmowaną podłogą kabiny.



8-17. Układ sterowania „z pływającym orczykiem” przystosowany do pracy w modelu dwusilnikowym



8-18. Konstrukcyjne rysunki modelu na uwięzi samolotu AERO COMMANDER 560

Oczywiście z tych wszystkich „szykan” można zrezygnować i kadłub skleić na stałe. Jeszcze kilka uwag na temat budowy bardzo wielkich i ciężkich modeli. Stosowanie prostych metod konstrukcyjnych czasami zawodzi, zwłaszcza w miejscach połączeń, zamocowań skrzydeł, podwozia itp.

Prawie zawsze trzeba stosować wzmocnienia miejsc klejonych, a nawet uciekać się do stosowania metalowych okuć. Trzeba jednakże pamiętać, by te wzmocnienia stosować tylko tam, gdzie są naprawdę potrzebne oraz unikać miejscowego przestępnienia konstrukcji — to znaczy stosowania gwałtownych przejść od miejsc wzmocnionych do słabych (rys. 8-16). Szczególną uwagę należy zwrócić na właściwe opracowanie i solidne wykonanie układu sterowania.

Możliwość sterowania pracy silników jest bardzo pożądana. Stosować należy wyłącznie układ z „pływającym orczykiem” (patrz rys. 6-15). Schemat takiego układu w zastosowaniu do modelu dwusilnikowego pokazany jest na rysunku 8-17.

Aby umożliwić Czytelnikom ogólny pogląd na całość konstrukcji, zamieszczamy reprodukcję angielskiego opracowania^{*} planów warsztatowych prostego modelu samolotu dwusilnikowego AERO COMMANDER 560 (rysunek 8-18).

Kilka słów o samolocie. Ten zgrabny 5-miejscowy nieduży górnopłat (rozpiętość 13,42 m) jest maszyną pod każdym względem bardzo udaną. Zapewnia wysoki komfort i bezpieczeństwo lotu. Napęd stanowią dwa silniki typu bokser, 6-cylindrowe o mocy 270 KM każdy, zapewniające przelotową prędkość 320 km/h.

Dane techniczne modelu:

- rozpiętość 1070 mm
- długość 840 mm
- powierzchnia skrzydła 14 dm²
- powierzchnia stat. poz. 3 dm²
- napęd — 2 silniki 1,5 cm³

Plan modelu składa się z dwóch arkuszy. Pierwszy z nich obejmuje rysunki kadłuba i stateczników, drugi — rysunki skrzydła i gondoli silnikowych. Konstrukcja modelu została zaprojektowana do wykonania z balsy. Wiele elementów balsowych można jednak zastąpić sklejką (wreگی, żebra, kesony) lub sosną (podłużnice). Kadłub o przekroju zaokrąglonego prostokąta ma konstrukcję wręgową. Wreگی są zamocowane pomiędzy płaskimi ściankami bocznymi, które nadają odpowiedni kształt. Wierzch i spód kadłuba pokryte są balsowymi klepkami. Spód kadłuba w części przedniej wzmocniony jest sklejkowym kilem, do którego przykręcone jest przednie podwozie za pośrednictwem blaszanych okuć. Zakończenie kadłuba z przodu i z tyłu stanowią klocki balsowe.

Stateczniki — poziomy wraz ze sterem oraz pionowy — mają bardzo uproszczoną konstrukcję. Wykonane są z 5-milimetrowej deseczki balsowej i przyklejone do kadłuba na stałe.

Skrzydło nie odejmowane, związane na stałe z kadłubem, konstrukcji jednodźwigarowej pokryte jest obustronnie balsą 1,5 mm. Dźwigar przyklejony do wreگی kadłuba ma wzmocnienie zwiększa-

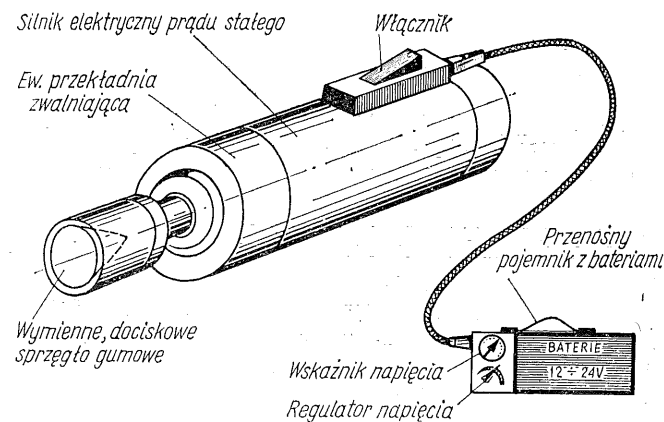
jące powierzchnię klejenia i sięgające aż poza gondolę. Gondola o konstrukcji mieszanej ma 3 wreگی, w których zamocowane są beleczki łoża silnikowego. Na odcinku wreگی gondola pokryta jest klepkami. Oprofilowanie tylne i osłona silnika mają konstrukcję składaną (plasterkową). Osłona silnika zamocowana jest do belek łoża silnikowego za pośrednictwem wkrętów. Do belek łoża silnikowego przywiązane są również golenie podwozia głównego. Skrzydło wyposażone jest w lotki wykonane z deseczek balsowych. Linki sterownicze przebiegają w skrzydle, orczyk zamocowany jest do sklejkowej płytki wklejonej pomiędzy dwie wreگی kadłuba.

Modele wielosilnikowe na starcie

Zwiększona liczba silników komplikuje nieco obsługę modelu. Odnosi się to specjalnie do rozruchu silników i obsługi startowej.

Rozruch silników może być mechaniczny lub ręczny. Rozruch mechaniczny wymaga zastosowania odpowiedniego rozrusznika i w zasadzie ogranicza się do silników o zapłonie żarowym. Rozrusznik (rysunek 8-19) składa się z napędu (ręcznego lub elektrycznego), przekładni oraz sprzęgła ciernego, które dociskamy do kołpaka śmigła.

Ponieważ tylko niektórzy mogą sobie pozwolić na wykonanie rozrusznika we własnym zakresie, omówimy przede wszystkim zasady ręcznego rozruchu silnika.



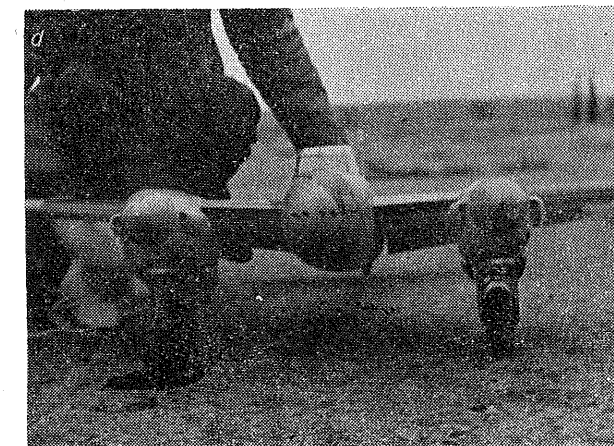
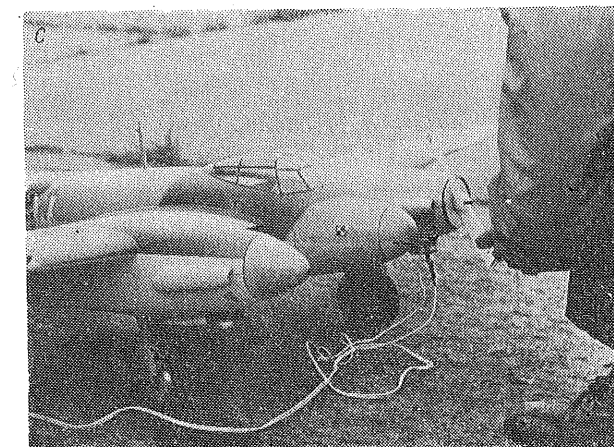
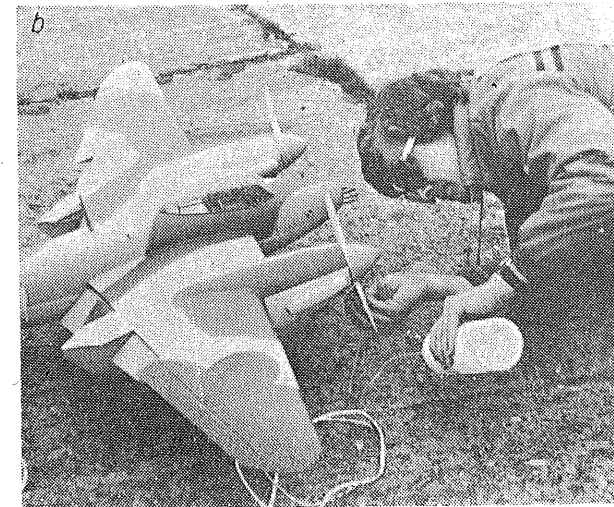
8-19. Rozrusznik elektryczny

Pamiętajmy o tym, że model wielosilnikowy jest już po części prawdziwym samolotem, toteż przepisy startowe powinny być przestrzegane bardzo skrupulatnie.

Nie wolno zapominać, że przed każdym lotem należy sprawdzić ogólnie stan modelu oraz sprawność i wytrzymałość układu sterowania i innych mechanizmów (rys. 8-20a).

A oto przepisy startowe dla samolotu dwusilnikowego z ręcznym rozruchem silników:

— przed lotem należy silniki oddzielnie wyregulować i ustawić regulację dla najłatwiejszego rozruchu,



— do przeprowadzenia startu wystarczą 3 osoby: pilot, pomocnik trzymający model oraz pomocnik trzymający uchwyt sterowy (może być ktoś z publiczności); silniki uruchamia pilot, — droga startowa musi być gładka na przestrzeni całego okrążenia, do pierwszych lotów — pogoda bezwietrzna, rozruch silników

— napełnić zbiorniki paliwem (rys. 8-20b) aż do przelania; w czasie napełniania dopływ paliwa do gaźnika powinien być odcięty (dokręcona igła),

— ustawić igły gaźników i śruby kompresyjne (w silnikach samozapłonowych) w położeniu najkorzystniejszym dla rozruchu (regulacja ta powinna być odnotowana na osłonie silnika),

— uruchomić wewnętrzny silnik^{*)}, rozgrzewać przez krótki okres czasu przy średniej prędkości obrotowej i zatrzymać przez zakręcenie igły gaźnika; nie zatykać gaźnika, bo silnik ulegnie zalaniu,

— dopełnić zbiornik uruchamianego silnika i ustawić z powrotem rozruchową regulację,

— uruchomić zewnętrzny silnik (rys. 8-20c) ustawiając małą prędkość obrotową; igłę gaźnika ustawić w położeniu odpowiadającym maksymalnej prędkości obrotowej w locie,

— szybko uruchomić niedawno podgrzany wewnętrzny silnik,

— zwiększyć obroty do maksymalnych (rys. 8-20d) i przejść do uchwytu sterowego,

— pomocnik wypuszcza model (bez popychania i przy napiętych linkach) tylko na wyraźny i jednoznacznie umówiony znak pilota (podniesienie ręki do góry).

W modelach więcej niż dwusilnikowych należy: — grzać silniki kolejno od zewnętrznego do wewnętrznego,

— w tym samym kierunku uruchamiać kolejno silniki, ustawiając małe obroty (rys. 8-21),

— zbiorniki dopełniać kolejno, od zewnętrznego do wewnętrznego,

— w tej samej kolejności zwiększać prędkość obrotową.

Zabiegi te mają na celu zabezpieczenie się przed przedwczesnym zatrzymaniem się silnika zewnętrznego. Pożądane byłoby, aby rozruch modelu np. czterosilnikowego obsługiwały dwie osoby — jedna silniki zewnętrzne, a druga — wewnętrzne. Silników, które dają się uruchomić na zimno, grzać nie potrzeba. Zbytne przegrzanie silnika nie tylko nie ułatwia rozruchu, ale wręcz go utrudnia. Prędkość obrotową silników należy zgrywać do silnika zewnętrznego — kolejno po jednym. Zgrywamy obroty na słuch tak, aby dźwięk był jednostajny. Niezgrane obroty objawiają się dźwiękiem falującym (dudnieniem).

^{*)} Określenie „wewnętrzny” odnosi się do silnika skrajnego, od wewnątrz kręgu.

8-20. Rozruch silników w 2-silnikowym modelu D.H. MOSQUITO

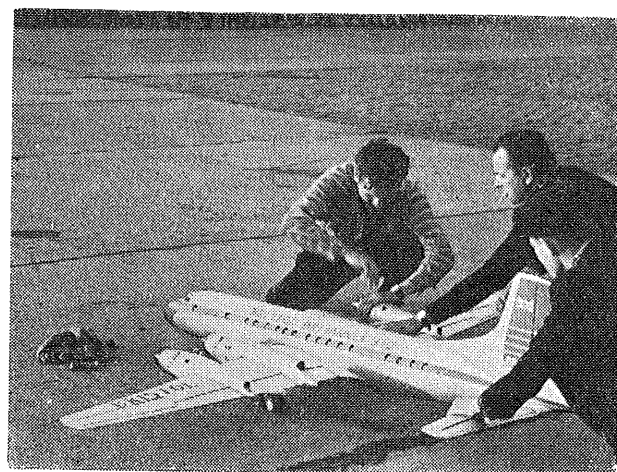
a — sprawdzenie modelu, b — tankowanie modelu, c — jeden silnik pracuje, d — dwa silniki pracują — model wychodzi na start (a÷d — foto autora)



8-21. Regulacja silników w modelu czterosilnikowym

Start modelu wielosilnikowego (rys. 8-22) przebiega tak samo, jak start każdego innego modelu na uwięzi z tym tylko, że ciężki model bardziej ciągnie za uchwyt. Podczas startu nie należy oddawać steru, zwłaszcza gdy model nie ma nosowego kółka. Podobnie nie wolno modelowi zbyt zadzierać — grozi przepadnięciem po oderwaniu. Prawidłowo wyważony model pilotuje się normalnie. Trudny pilotaż i model niespokojny, gwałtownie reagujący na stery z tendencją do zadzierania, można poprawić jedynie przez dodanie balastu na przód.

Silniki powinny zatrzymywać się po kolei od zew-



8-22. Czterosilnikowy model samolotu BRISTOL BRITANNIA na starcie

nętrznego do wewnętrznego. Przed lądowaniem model należy utrzymywać na niedużej wysokości, lądować systemem „na wprost”. Modele czterosilnikowe mogą lądować na jednym pracującym silniku i wówczas jest możliwe podciąganie modelu w trakcie lądowania. W tym celu można specjalnie zrobić jeden większy zbiornik, np. dla wewnętrznego przykadłubowego silnika.

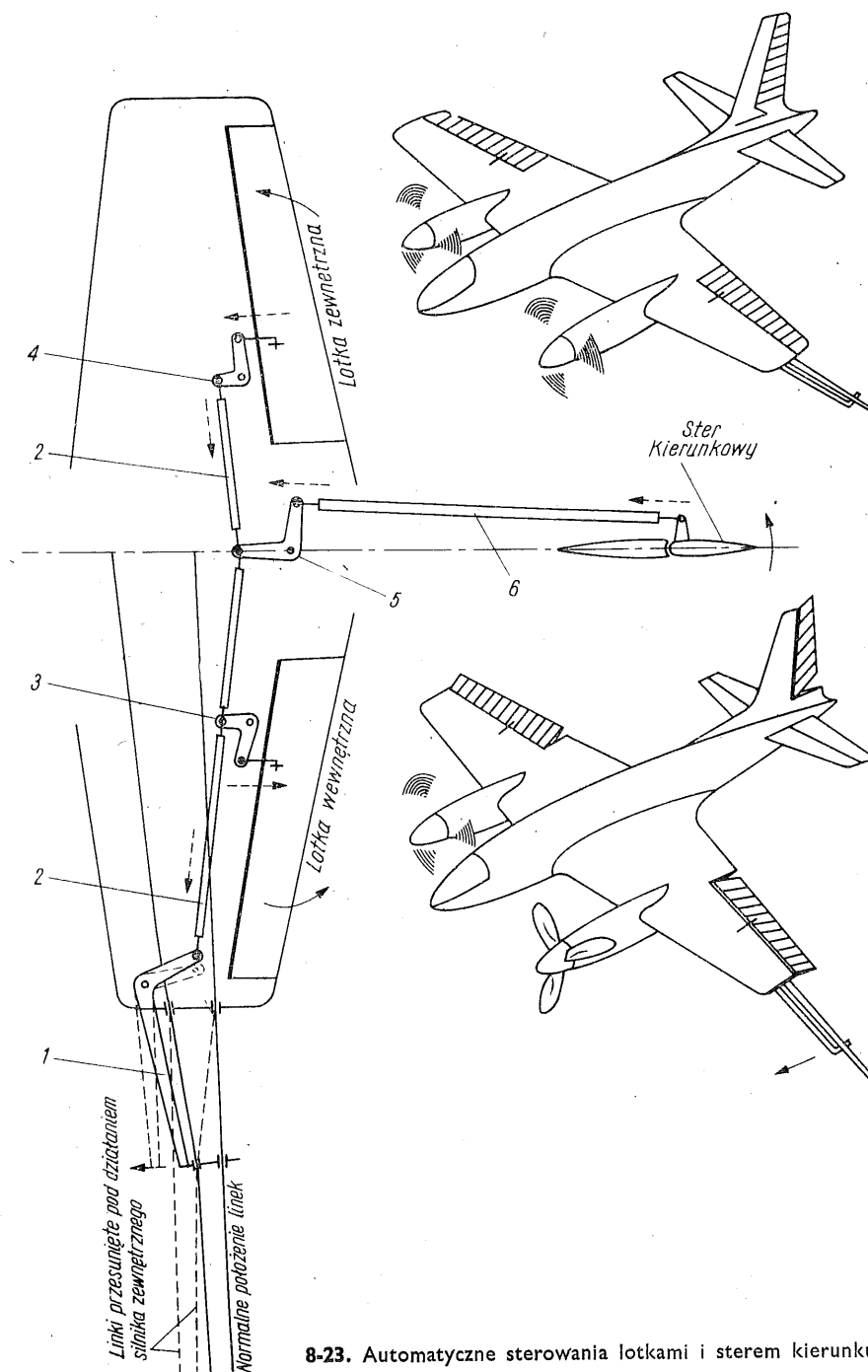
Konstruktorzy modeli wielosilnikowych na ogół źle sypiają. Straszy ich bowiem we śnie taka oto sytuacja: wielki czterosilnikowy olbrzym odbywa już swą pierwszą podróż powietrzną, gna naprzód pełną mocą wszystkich silników. Lecz nagle... katastrofa! Silniki na „wewnętrznym” skrzydle odrywają posłuszeństwa. Pracujące nadal silniki zewnętrzne zakręcają model do środka kręgu, zwalnia się naciąg linek, model nie reaguje na stery, schodzi w lot nurkowy i... — dalej już wiadomo.

Jak jest więc naprawdę z tym lotem na silnikach zewnętrznych? Jeżeli model jest dobrze zaprojektowany, tak że w czasie normalnego lotu wychyla się lekko na zewnątrz kręgu (regulować możemy prowadzeniem linek na końcu płata), na ogół nic się nie stanie i działanie siły odśrodkowej przewyższy zakręcający efekt zewnętrznych silników. Kiedy jednak silniki są umieszczone daleko od kadłuba, a model na dodatek jest źle wyregulowany, wówczas opisany sen modelarza może się, niestety, spełnić.

Istnieje możliwość automatycznego przeciwdziałania szkodliwym tendencjom. Schemat urządzenia pokazany jest na rysunku 8-23, a praca wygląda następująco. Na końcu wewnętrznego skrzydła zamocowana jest obrotowo dźwignia 1, zaopatrzona w otwórki umożliwiające prowadzenie linek. W czasie lotu linki są napięte, a dźwignia nie zmienia swojego położenia.

Gdy silnik wewnętrzny zatrzyma się i model pod działaniem ciągu silników zewnętrznych wykona skręt do wewnątrz, wówczas dźwignia wychyli się nieco do przodu (linia kreskowana). Ten ruch dźwigni wykorzystujemy do automatycznego sterowania: dźwignia swoim drugim końcem ciągnie cięgiło — popychacz 2 i za jego pośrednictwem uruchamia dźwignie 3, 4 i 5. Dźwignie 3 i 4 powodują wychylenie lotek, dając reakcję skrzydeł przeciwdziałającą przechyłowi do wewnątrz kręgu, zaś dźwignia 5 za pomocą popychacza 6 uruchamia ster kierunku, który również przeciwdziała obrotowi modelu. Ustala się położenie równowagi i model leci równo na jednym silniku. Urządzenie to będzie również przeciwdziało nadmiernemu wychyleniu się modelu na zewnątrz, gdy zatrzymają się z kolei zewnętrzne silniki. Będzie ono również poprawiać przypadkowe wychylenie modelu w czasie startu, spełniając rolę automatycznego pilota. Dźwignie powinny być tak dobrane, aby małe wychylenia dźwigni 1 powodowały duże reakcje sterów.

Urządzenie to zamontowane na modelu znacznie podnosi jego atrakcyjność, ponieważ wszystkie organy sterowania pracują w locie. Jest tylko niestety trochę skomplikowane



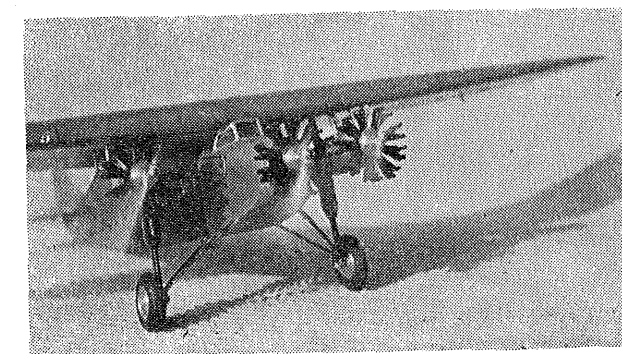
8-23. Automatyczne sterowania lotkami i sterem kierunku

Modele wielosilnikowe w locie swobodnym i zdalnie kierowanym

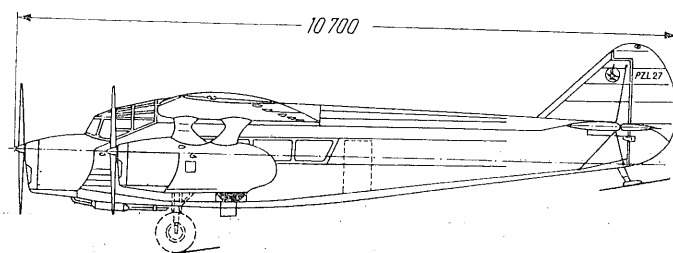
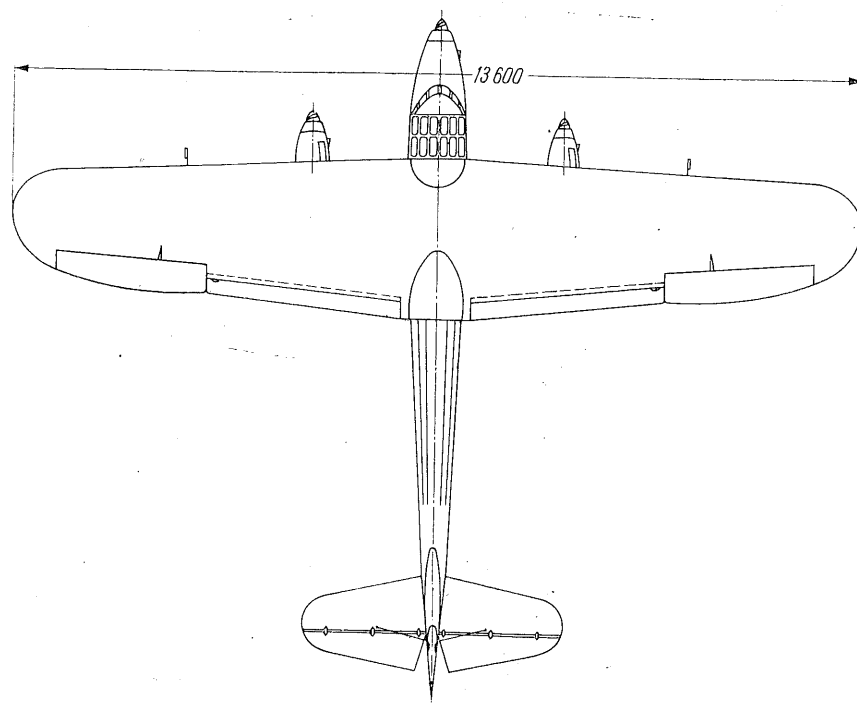
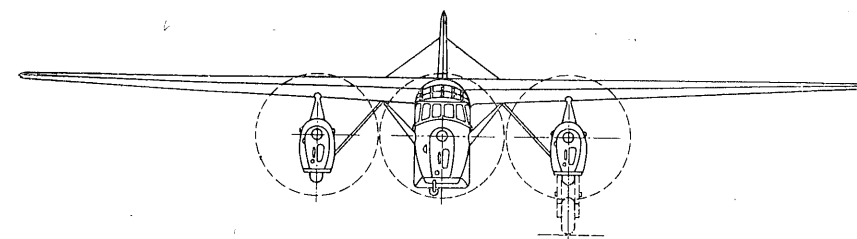
Zbudowanie swobodnie latającego lub zdalnie kierowanego modelu wielosilnikowego to bardzo trudny problem. Mimo to co pewien czas pojawiają się oryginalne konstrukcje, które szczęśliwie rozwiązują bądź omijają trudności.

Celowo napisałem „omijają”, ponieważ to jest najprostsza i najłatwiejsza metoda. Na czym ona polega, zaraz wyjaśnię. Spójrzmy na rysunek 8-24, przedstawiający model trójsilnikowego samolotu FOKKER. W tym rozwiązaniu jedynie śmigło środkowe jest napędzane silnikiem, a dwa boczne obracają się luzem. Opisany model niczym się

właściwie nie różni od zwykłego modelu jednosilnikowego. Aby zmniejszyć opór, luźno obracające się śmigła mają wąskie łopatki o dużym



8-24. Model trójsilnikowego samolotu FOKKER (foto autora)



8-25. Samolot pocztowo-komunikacyjny PZL-27 idealnie nadaje się (jako model) do napędu środkowym silnikiem

skoku (ustawione pod dużym kątem). Istnieje sporo samolotów o podobnym układzie, a między innymi nasz PZL-27, którego bardzo interesującą sylwetkę reprodukuje na rysunku 8-25.

Również układ silników w tandem pozwala w prosty sposób zrealizować lot swobodny na dwóch silnikach. W takim rozwiązaniu jedno śmigło jest ciągnące, a drugie pchające. Śmigła obracają się przeciwnie i ich reakcje nawzajem się znoszą, tak że na model nie działają siły przechyłające. Pozwala to na dobre zrównoważenie modelu w

locie silnikowym. Ze względu na umieszczenie ciężkiego silnika poza środkiem ciężkości, wyważenie takiego modelu będzie kłopotliwe. Można oczywiście zrezygnować z jednego silnika, stosując luźne śmigło. Idealny obiekt stanowi tutaj samolot CESSNA SUPER SKYMASTER, którego szkic reprodukowany był na rysunku 7-5. Modele tego interesującego samolotu były wielokrotnie budowane i z dużym powodzeniem. Podobny układ (dwa silniki we wspólnej gondoli nad kadłubem) mają niektóre łodzie latające.

9

Modele samolotów odrzutowych

Napęd odrzutowy w miniaturze

Zrealizowanie napędu odrzutowego do modelu latającego w takiej formie, jak to jest stosowane w lotnictwie, nie jest proste.

W nowoczesnym lotnictwie króluje silnik turboodrzutowy, znajdujący zastosowanie w samolotach bojowych i cywilnych. Oprócz tego stosuje się silniki turbośmigłowe, strumieniowe i raketowe.

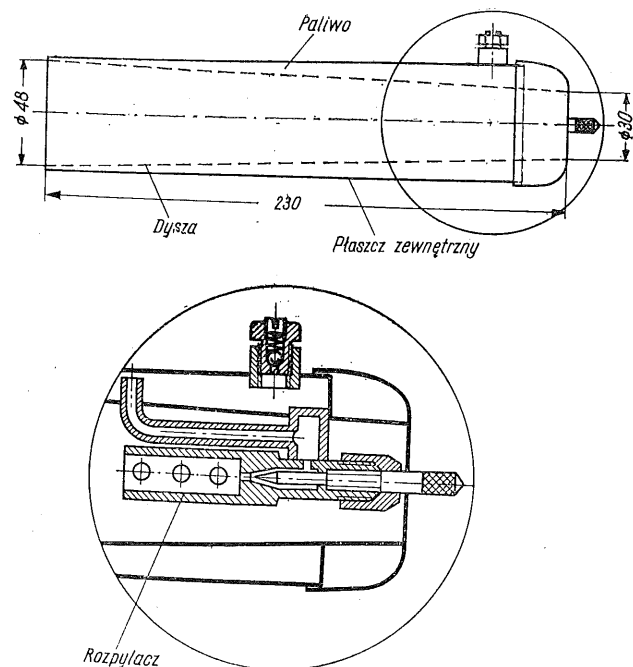
Budowa miniaturowych silników turboodrzutowych jest niezwykle trudna. Konstruktor musiałby rozwiązać cały szereg niezmiernie skomplikowanych problemów technicznych, takich jak zapewnienie silnikowi dostatecznie bezpiecznej długotrwałej pracy w wysokich temperaturach, przy prędkościach obrotowych przekraczających znacznie te, jakie stosowane są w dużych silnikach i przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednich dla zabudowy w modelu rozmiarów, niedużego ciężaru i znośnej sprawności. Entuzjaści napędu odrzutowego od dawna usiłowali zbudować miniaturowy silnik turboodrzutowy do modeli latających. Powstawało wiele mniej lub bardziej udanych prototypów, które na ogół miały zbyt wielkie rozmiary i mogły napędzać jedynie specjalne modele.

Znane są wzmianki o amerykańskim silniku „Turbocraft”, który miał być pierwszym tego typu silnikiem produkowanym seryjnie, spełniającym wymagania miniaturyzacji. Niestety, zbyt mało danych opublikowano na temat tego silnika i brak jest wiadomości o lotach modeli zaopatrzonych w ten silnik. Jedno wiadomo na pewno, że koszt takiego silnika jest bardzo wysoki, a obsługa kłopotliwa. Małe są więc szanse na szybkie rozpowszechnienie klasycznego napędu turboodrzutowego również w lotnictwie miniaturowym.

Silnik turbośmigłowy jest jeszcze bardziej skomplikowany od silnika opisanego poprzednio. W lotniczym rozwiązaniu jest to silnik turboodrzutowy, który ma dodatkową turbinę napędzającą śmigło poprzez reduktor zmniejszający prędkość obrotową. Wykonanie takiego silnika w miniaturze jest jeszcze trudniejsze, po prostu niepotrzebne, ponieważ mamy inne, lepsze i prostsze rozwiązania tego pozornie skomplikowanego problemu. Silnik turbośmigłowy ma przecież śmigło, które można z powodzeniem napędzać zwyczajnym silnikiem tłokowym. Całą pracę napędu przejmie śmigło, a wyloty gazów odrzutowych mogą być pozorowane. Można w nich umieścić na przykład środek dymiący.

Silnik strumieniowy jest stosowany w samolotach raczej sporadycznie. Jego cechą charakterystyczną jest całkowity brak części ruchomych. Silnik strumieniowy daje ciąg tylko przy bardzo wielkich prędkościach, od kilkuset km/h wzwyż, a jego ciąg na postoju równy jest zeru. Stąd silnik ten nie może być zastosowany do startu i wymaga dodatkowych silników wspomagających. Ze względu na bardzo małą sprawność przy małych prędkościach, zastosowanie silników tego typu do modeli jest niecelowe. Pracowano jednak i w tej dziedzinie, choć jest ona przyszłościową nawet dla „dużego” lotnictwa.

Na rysunku 9-1 pokazany jest przekrój miniaturowego silnika strumieniowego. Składa się on z blaszanej dyszy w formie rozwartego stożka, otoczonej z zewnątrz blaszanym płaszczem, tak że pomiędzy dyszą a obudową zewnętrzną jest przestrzeń wolna, wykorzystana jako zbiornik paliwa, oraz z rozpylacza wtryskującego paliwo w kierunku wylotu. Silnik pracuje na postoju podobnie jak lampa lutownicza; gazy spalinowe podgrzewają paliwo pomiędzy ściankami, w zbiornicz-



9-1. Miniaturowy silnik strumieniowy

ku wytwarza się ciśnienie, które powoduje wtrysk paliwa. Rozruch silnika wymaga wytworzenia wstępnego ciśnienia w zbiorniku, na przykład przez podgrzanie.

W czasie postoju silnik nie daje praktycznego ciągu; przy prędkości 40 km/h ciąg wynosi zaledwie 7 G, przy 80 km/h — 31 G, a dopiero przy ogromnej, jak dla modeli, prędkości 320 km/h ciąg wzrasta do 490 G. Nawiasem mówiąc, aby uzyskać tak wielką prędkość, model wymagałby ciągu rzędu kilku kilogramów.

Silniki tego typu można by stosować do pozorowania napędu odrzutowego (strugi ognia) przy innym źródle zasadniczego napędu. Zużywają one jednak bardzo dużo paliwa, a eksperymenty z nimi mogą być niebezpieczne.

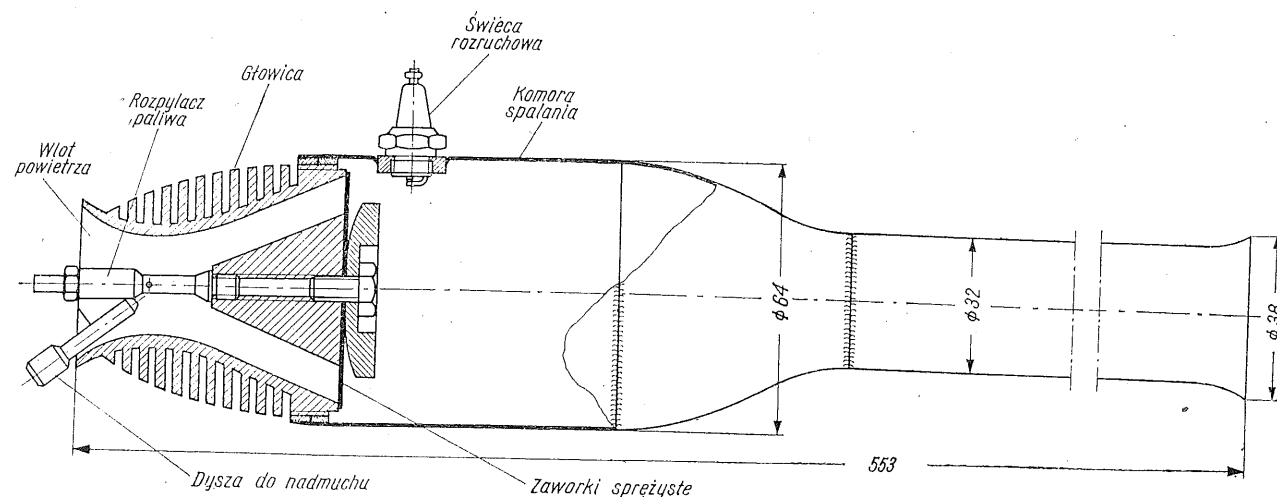
Pulsacyjny silnik odrzutowy (jedyna odmiana silnika odrzutowego dobrze pracująca w formie miniaturowej) stosowany w modelarstwie wyczynowym, znalazł również zastosowanie do napędu

miniaturowych samolotów odrzutowych. Silnik pulsacyjny odznacza się małym ciężarem i wielkim ciągiem. Na rysunku 9-2 pokazano doskonały ongiś polski silnik pulsacyjny GADO-300.

W głowicy, wykonanej ze stopu lekkiego, znajduje się wlot powietrza i rozpylacz paliwa. Do tylnej ścianki głowicy przykręcone są zaworki w formie sprężynujących listków z cienkiej, żaroodpornej blachy. Za głowicą znajduje się komora spalania oraz dysza wylotowa. Zasada pracy jest następująca: pierwsze uruchomienie przeprowadzamy przez nadmuchiwanie sprężonego powietrza (z butli lub pompki) do dyszy rozpylacza. Wytwarza się mieszanka, której napór unosi zaworki sprężyste i napełnia komorę spalania. Zapłon może nastąpić od świecy rozruchowej lub przez podłożenie ognia przy wylocie. Następuje wybuch w komorze spalania, pod wpływem ciśnienia gazów zamykają się zaworki sprężyste, a gorące spaliny opuszczają komorę spalania, ulatując z wielką prędkością przez dyszę wylotową. Wylot gazów powoduje powstanie podciśnienia w komorze spalania, zaworki się odchylają, a świeża mieszanka wlatuje do wnętrza. Ponowny zapłon następuje samoczynnie — od resztek palących się gazów i rozgrzanych ścianek silnika. Tak wygląda cykl pracy silnika pulsacyjnego.

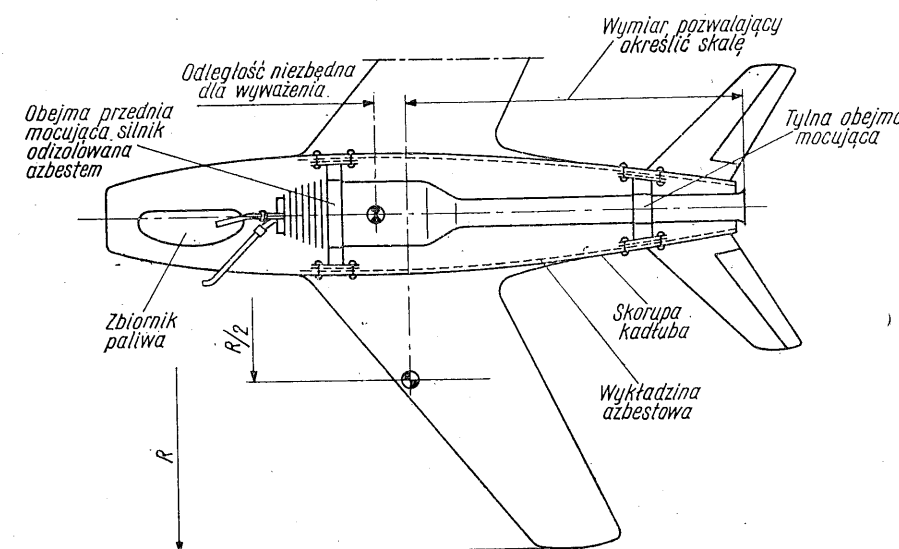
Następne cykle są samoczynne, a w komorze spalania zachodzi ciąg szybko następujących po sobie wybuchów, które słyszymy jako przeciągły ryk, bardzo nieprzyjemny dla ucha. Ta cecha silnika pulsacyjnego peszy bardzo konstruktorów miniaturowych samolotów, ponieważ dźwięk jest zupełnie niepodobny do szumu silników turboodrzutowych, stosowanych w lotnictwie.

Drugą nieprzyjemną cechą tego silnika jest silne nagrzewanie się w czasie pracy, co powoduje, że trzeba stosować izolację cieplną, chroniącą konstrukcję modelu przed spalaniem (jeśli nie jest ona metalowa). Duży ciąg silnika pulsacyjnego zmusza do stosowania go tylko w modelach na uwięzi. Na rysunku 9-3 pokazany jest schemat zabudowania silnika pulsacyjnego w modelu na uwięzi. Dobór powierzchni, a więc wielkość modelu, zależy w dużej mierze od rozmiarów silnika. Wielkość modelu powinna być tak dobrana, aby istniała możliwość wyważenia modelu za pomocą silnika

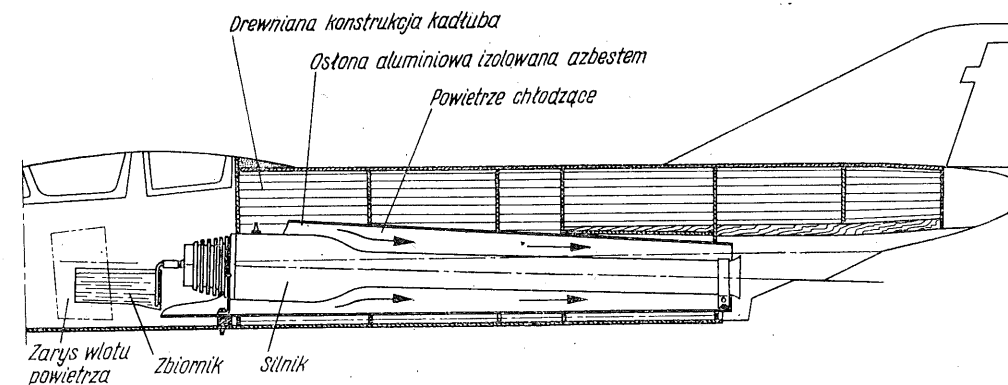


9-2. Miniaturowy silnik pulsacyjny GADO-300 polskiej konstrukcji, produkowany w latach 1950-55 przez Felicjana Gadomskiego

bez konieczności stosowania dużego balastu przedniego. Oznacza to, że środek ciężkości silnika powinien być umieszczony przed środkiem ciężkości modelu, który przypada w okolicy krawędzi natarcia średniej cięciwy. Koniec dyfuzora ogranicza rozmiar modelu od tyłu. Mamy więc konkretny rozmiar: od środka ciężkości do końca dyfuzora (przy centralnym wylocie spalin), według którego dobieramy skalę. Powierzchnia skrzydła nie powinna jednak być mniejsza niż $6 \div 8 \text{ dm}^2$ dla modeli na uwięzi.



9-3. Schemat umieszczenia silnika pulsacyjnego w modelu na uwięzi



9-4. Konstrukcyjne rozwiązanie zabudowy silnika pulsacyjnego w zdalnie kierowanym modelu samolotu odrzutowego

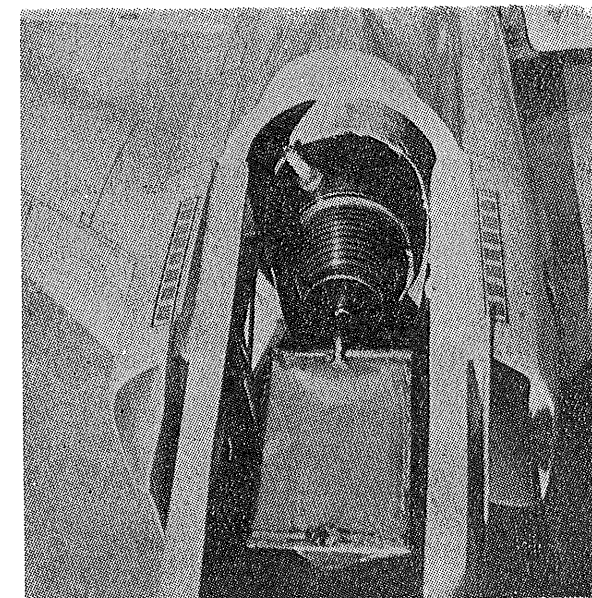
Projektując model trzeba pamiętać, że nie można przedłużać rury dyfuzora, bo jego długość jest dla silnika pulsacyjnego ściśle dobrana i po przedłużeniu silnik nie będzie pracował. Zresztą silniki pulsacyjne są tak długie, że przedłużenie rury na ogół nie jest konieczne.

Duży ciąg umożliwia stosowanie metalowych konstrukcji z blachy aluminiowej. Jeśli model jest drewniany, silnik nie może dotykać nigdzie do konstrukcji, która od wewnątrz musi być chroniona warstwą azbestu. Dotyczy to szczególnie okolicy wylotu, z którego przy rozruchu mogą ściekać płonące krople paliwa (rys. 9-4).

Zamocowanie silnika do konstrukcji musi być izolowane od łatwo palnych elementów przekładkami z azbestu, musi istnieć również wygodny dostęp do głowicy i zamocowań, najlepiej poprzez kłapę (rys. 9-5) w górnej części kadłuba. Trzeba ponadto zwrócić uwagę na solidne rozwiązanie podwozia, bo modele odrzutowców są ciężkie i lądują oraz startują z wielką prędkością.

Do skrzydła stosuje się cienki (około 8%) profil

płasko-wypukły, a do statecznika poziomego — cienki symetryczny lub płaską płytkę. Oblatując modele z silnikiem pulsacyjnym trzeba zachować wielką ostrożność. Modele odrzutowe mogą osiągać prędkości ponad 200 km/h, co stanowi poważne niebezpieczeństwo dla obserwatorów. Ponadto trzeba pamiętać, że benzyna stanowiąca paliwo silnika, to materiał łatwo palny, a silnik rozgrzewa się do czerwoności i o pożar nietrudno. Silniki rakietowe również znajdują zastosowanie w modelach latających. W erze sztucznych



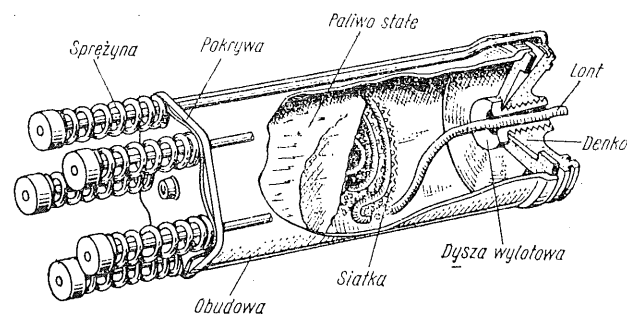
9-5. Zabudowa silnika pulsacyjnego w modelu zdalnie kierowanym

satelitów i badań międzyplanetarnych któż z nas młodych nie marzy o zbudowaniu silnika raketowego, choćby w miniaturze?

Amatorska budowa raket jest zabawą niebezpieczną, a ciąg zbudowanego w ten sposób silnika nie wystarcza zazwyczaj do napędu modelu.

Za granicą produkowane są seryjnie i dostępne w sprzedaży fabryczne silniczki raketowe do modeli. Silniczki te, zwane JETEX, sprzedawane w różnych wielkościach, dostarczają dostatecznie duży i dość długo trwający ciąg, by umożliwić bezpieczne loty, dzięki odpowiedniej konstrukcji i stosowaniu fabrycznych ładunków specjalnego paliwa. Na rysunku 9-6 pokazano przekrój miniaturowego silnika raketowego JETEX, a na rysunku 9-7 — silnik w całości.

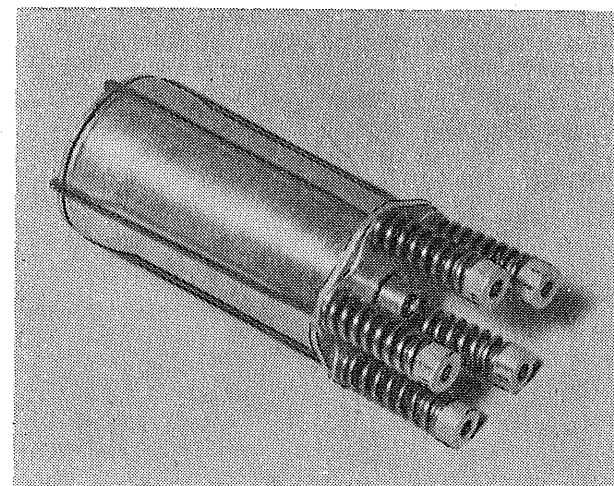
Silnik składa się z metalowej obudowy w kształcie rury, denka z dyszą wylotową, zamocowanego za pomocą klamry, oraz pokrywy docisniętej sprężynami. Wewnątrz znajduje się ładunek paliwa, oddzielony od komory spalania drucianą siatką. Uruchomienie silnika następuje za pomocą lontu



9-6. Przekrój silnika raketowego typu JETEX

Paliwo spala się powoli, a wewnątrz silnika wytwarzają się gazy o dużym ciśnieniu, które ulatując poprzez dyszę wylotową dają ciąg w czasie od 10 do 30 s.

Istnieje około 10 typów silników JETEX, które zależnie od ładunku dają ciąg 10 do 150 G. Gdy w czasie pracy silnika ciśnienie gazów wzrośnie nadmiernie, bądź z przyczyny wadliwego ładunku, bądź z powodu zatkania się dyszy wylotowej, wówczas



9-7. Fabryczny raketowy silnik modelarski typu JETEX (foto autora)

czas pokrywa silnika unosi się uginając sprężyny, a nadmiar gazów uchodzi na zewnątrz bez szkody dla silnika i modelu.

W tabelicy 9-1 podano zasadnicze dane charakterystyczne silników JETEX.

Jak wynika z charakterystyki silników tego typu, wartość ciągu rzadko przekracza dwukrotnie ciężar silnika. Jeżeli silnik zamontujemy na modelu, to stosunek ten stanie się jeszcze bardziej niekorzystny. Przy dużych staraniach i bardzo wydajnym silniku (np. SCORPION) można osiągnąć długi i bardzo efektowny lot. JETEX-owy napęd nadaje się do różnego typu modeli samolotów odrzutowych, a zwłaszcza do modeli o układzie latającego skrzydła (delta) oraz do modeli raket uskrzydłonych.

Model musi być bardzo lekki. Zasadniczym budulcem jest balsa, a metody konstrukcyjne są raczej klasyczne z zastosowaniem wręg, żeber i papierowego pokrycia.

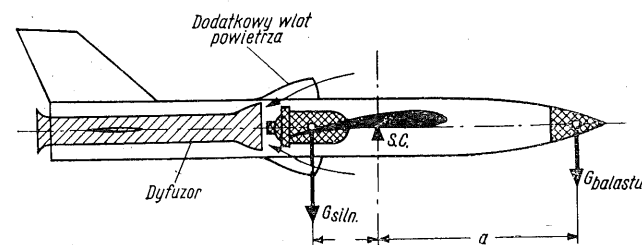
Projektując modele własnej konstrukcji należy zwrócić uwagę na następujące szczegóły:

— właściwy dobór rozmiarów, a głównie powierzchni nośnej, zależnie od rodzaju (ciągu) silnika (patrz tabl. 9-1),

Charakterystyka miniaturowych silników raketowych i proporcje modeli

Nazwa silnika	Wymiary		Ciężar całkowity [G]	Ciężar ładunku [G]	Ciąg średni [G]	Czas pracy [s]	Rozmiary modelu		
	długość [mm]	średnica [mm]					rozpiętość [mm]	ciężar całkowity max [G]	powierzchnia skrzydła [dm ²]
JETEX 50	45	17,5	10	3	14 ÷ 17	14 ÷ 15	300 ÷ 400	45	1,5
JETEX 100	59	25,5	25	7	28 ÷ 35	14 ÷ 15	400 ÷ 600	85	3
JETEX 200	73	30	34 ¹⁾	9 ¹⁾	72 ÷ 92	12 ¹⁾ 24 ¹⁾	600 ÷ 900	230	8
JETEX 350	95	35	78 ¹⁾	11 ¹⁾	100 ÷ 115	12 ¹⁾ 24 ²⁾ 36 ³⁾	750 ÷ 1150	340	11
JETMASTER	88	27	27	7	50 ÷ 55	12 ÷ 25	500 ÷ 750	130	4,5
SCORPION	57	32	56	11	140	8 ÷ 9	800 ÷ 1200	450	15

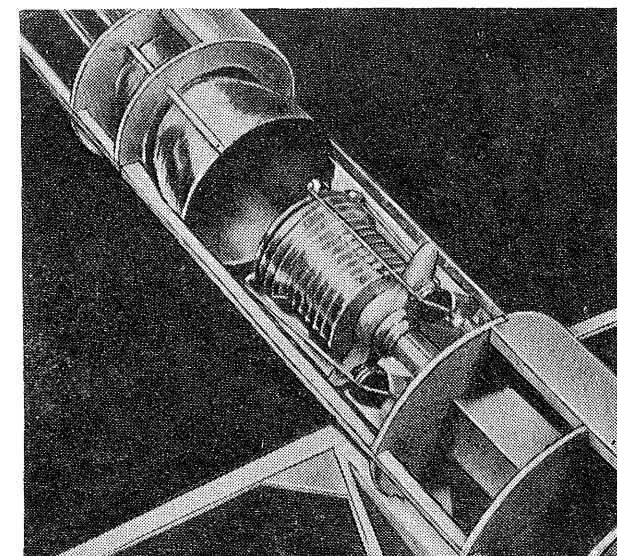
¹⁾ Przy zastosowaniu jednego ładunku. ²⁾ Przy zastosowaniu dwóch ładunków. ³⁾ Przy zastosowaniu trzech ładunków.



9-8. Zasada umieszczenia silnika raketowego w modelu

- obciążenie powierzchni nośnej powinno być utrzymane w granicach 30 ÷ 50 G/dm²,
- do skrzydeł należy stosować profile typu CLARK lub samostateczne o grubości około 6%; profil statecznika płaski lub bardzo cienki — symetryczny,
- kąt nastawienia profilu skrzydła w granicach 0 ÷ 2°, statecznika 0° względem osi kadłuba,
- wyważenie wg zasad dla modeli swobodnie latających (patrz rozdz. 5),
- silnik powinien być tak umieszczony, aby nie zakłócał wyważenia modelu.

Jeżeli chcemy ukryć silnik we wnętrzu kadłuba, stosuje się tzw. dyfuzory ejektorowe w kształcie lejcowatej rury (rys. 9-8), przez którą wypływają gazy spalinowe. Urządzenie to ma jeszcze tę zaletę, że podsysa dodatkowe powietrze (patrz strzałki na rysunku), w rezultacie ciąg silnika może wzrosnąć o około 20%. Przyrost ciągu zależy przede wszystkim od długości dyfuzora i umieszczenia sil-

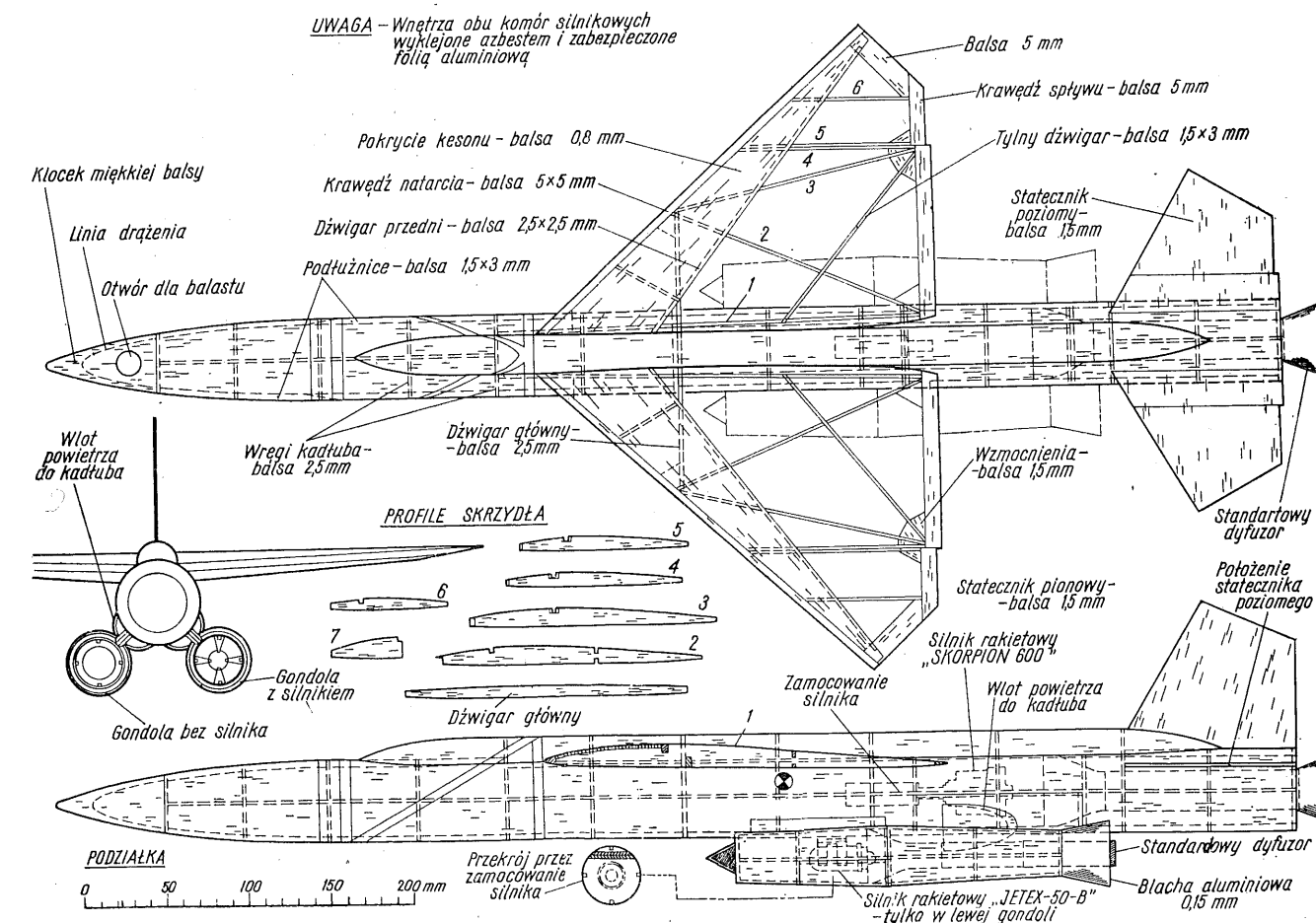


9-9. Umieszczenie silnika raketowego wewnątrz kadłuba modelu — widoczny lejek dyfuzora stanowiący przedłużenie wylotu spalin

nika względem niego. Zaleca się, aby wylot silnika znajdował się nieco przed lejkiem dyfuzora, rysunek 9-9).

Aby zorientować Czytelników w tendencjach konstrukcyjnych, jakie panują za granicą, reprodukujejmy plan modelu rakiety uskrzydłonej typu BOMARC (rys. 9-10).

Model ten jest napędzany największym spośród



9-10. Plan modelu rakiety typu BOMARC (wg Model Airplane News)

rodziny silników JETEX — silnikiem SCORPION, umieszczonym w centralnym kadłubie z dyfuzorem, oraz jednym silnikiem JETEX 50B, zamontowanym w lewej gondoli. Model może latać również tylko na silniku centralnym.

Model ma bardzo duże rozmiary, uzasadnione dużym ciągiem silnika, a mianowicie:

— długość modelu	800 mm
— rozpiętość	410 mm
— średnica kadłuba	52 mm
— powierzchnia skrzydła	5,0 dm ²
— ciężar całkowity	300 G
— obciążenie powierzchni skrzydła	50 G/dm ²

Konstrukcja modelu balsowa — składa się z kadłuba skorupowego wykonanego metodą klepkową z zastosowaniem okrągłych wręg, skrzydeł konstrukcji żeberkowej ze skośnym wzmocnieniem oraz płytkowych stateczników.

Lot modelu jest bardzo efektowny. Zaraz po starcie, który odbywa się z ręki lub z wyrzutni, model wznosi się z dużą prędkością pod kątem około 45°, osiągając wysokość rzędu 80 m, po czym silniki się wyłączają i model rozpoczyna lot ślizgowy, lądując kilkaset metrów od miejsca startu.

Jak wynika z opisu miniaturowych silników odrzutowych, każdy z nich ma jakieś wady. W praktyce prawidłowe wykorzystanie tych silników do budowy miniaturowych odrzutowców nie jest łatwe, zwłaszcza jeśli brak odpowiednich możliwości technicznych.

Powstały jednak nowe metody budowy i napędu miniaturowych odrzutowców, oparte na wykorzystaniu pocziwego, niezawodnego i ekonomicznego silnika tłokowego.

Omówimy dwie najpopularniejsze, polegające na użyciu śmigła oraz sprężarki powietrznej.

Modele odrzutowców napędzane śmigłem

Jest to metoda najprostsza. Polega na zamontowaniu do modelu samolotu odrzutowego silnika tłokowego i napędu modelu za pomocą normalnego śmigła.

Wybór odpowiedniego samolotu

Nie wszystkie samoloty odrzutowe nadają się do tego rodzaju napędu. Zespół napędowy powinien być umieszczony tak, aby sylwetka samolotu pozostała nienaruszona, a jednocześnie powinna istnieć możliwość prawidłowego wyważenia modelu. Aby to wyjaśnić, posłużmy się przykładem.

Na rysunku 9-11 pokazano sylwetkę włoskiego samolotu odrzutowego FIAT G-91 oraz sposób umieszczenia i zarys proporcjonalnego śmigła. Charakterystyczną cechą tego samolotu jest to, że ponad wlotem powietrza ma wysunięty do przodu stożek — osłonę instalacji radarowych. W czasie pracy silnika śmigło jest niewidoczne, a model w locie do złudzenia przypomina samolot odrzutowy. Efekt będzie większy, jeżeli model

ma pozorowany odrzut w postaci silnika dymnego, umieszczonego wewnątrz dyszy wylotowej.

Jeśli samolot pozbawiony jest wlotu takiego, jak w samolocie FIAT G-91, a ma ostre zakończenie przodu kadłuba o przekroju okrągłym, można je również wykorzystać jako kołpak dla śmigła. Musimy jednak zrezygnować wtedy z całkowitego ukrycia silnika i zdecydować się na to, że cylinder będzie częściowo wystawał z boku lub z dołu. Na rysunku 9-12 przedstawiono kilka sylwetek myśliwskich samolotów odrzutowych, w zastosowaniu do których opisana przed chwilą metoda napędu śmigłowego mogłaby znaleźć zastosowanie. Jeżeli samolot ma okrągłą i wystającą do tyłu wylotową dyszę silnika odrzutowego, można zastosować jeszcze jeden sposób, polegający na umieszczeniu w tylnej części kadłuba tłokowego silnika, napędzającego pchające śmigło. Osłonę śmigła będzie stanowiła wówczas część rury wylotowej obracającej się wraz ze śmigłem. Ponieważ w tej części kadłub jest zazwyczaj dość gruby, głowica silnika nie będzie rażąco wystawała.

Ten sposób można stosować tylko do samolotów mających odpowiednie proporcje, ponieważ silnik umieszczony z tyłu zakłóci poważnie wyważenie modelu, które trzeba będzie poprawić przez umieszczenie balastu w przedniej części kadłuba. Jeżeli samolot ma długi przód i skrzydła umieszczone z tyłu, balast nie będzie zbyt wielki (rys. 9-13). Możliwości zastosowania silnika tłokowego do napędu modelu samolotu odrzutowego jest wiele.

Projektowanie modeli o napędzie śmigłowym

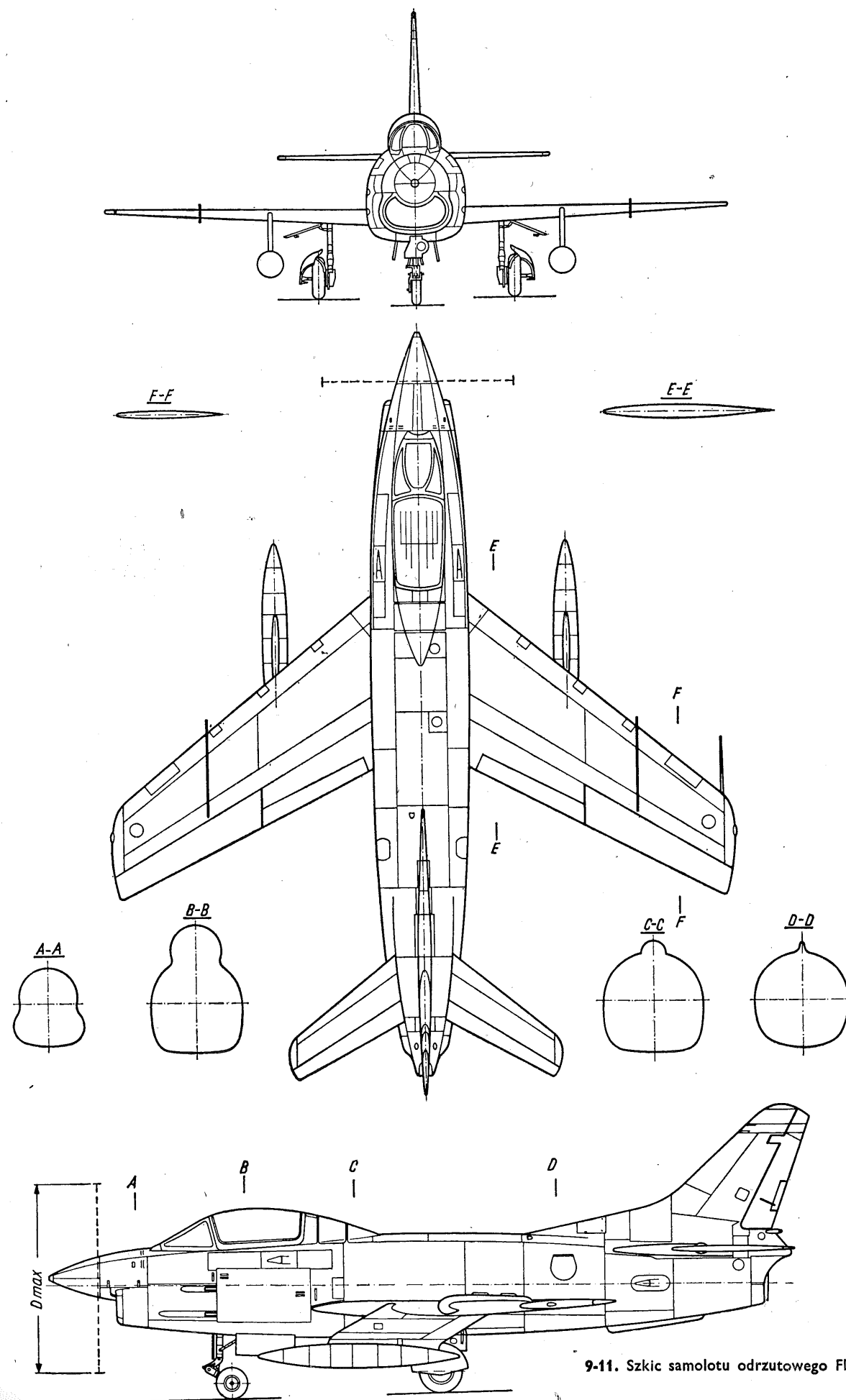
Śmigłowe odrzutowce będziemy projektowali przeważnie jako modele na uwięzi. Ogólne zasady projektowania podano w rozdziale 6.

Rozmiary i ciężar modelu określamy według tablicy 6-1, biorąc dane odpowiadające samolotom myśliwskim lub szybkim bombowcom. W tablicy tej podano np., że dla silnika o pojemności 2,5 cm³ powierzchnia skrzydła powinna wynosić 7 dm², a ciężar modelu 500 G. W jaki sposób określić wymiary modelu, jeżeli dysponujemy tylko danymi odnośnie powierzchni wyjaśniliśmy poprzednio. Profile stosujemy cieńsze niż w modelach zwyczajnych, aby zachować podobieństwo do oryginału. Do skrzydeł można stosować dwuwypukłe profile o grubości około 9%. Współrzędne profilu NACA-23009, nadającego się doskonale do tego celu, są podane w rozdziale 15.

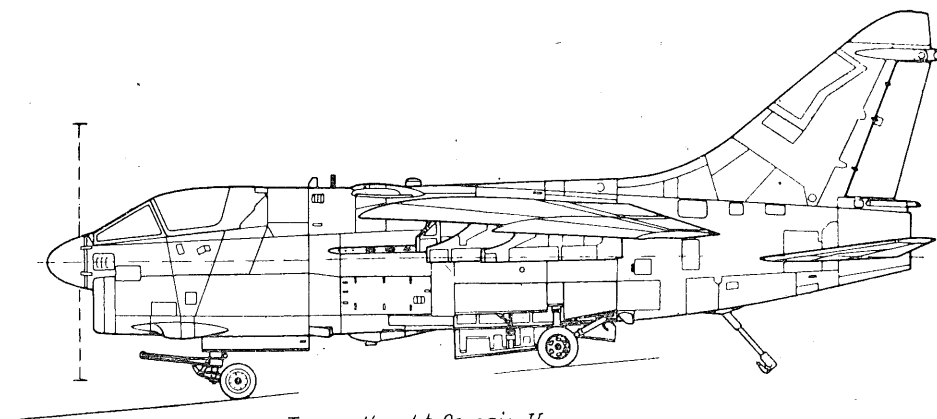
Cieńszych profili nie należy stosować ze względu na małą siłę nośną, jaką wytwarzają. Profile skrzydeł należy montować pod niewielkim kątem dodatnim (~ 1°) względem osi kadłuba. Do statecznika poziomego stosujemy cienkie profile symetryczne (jak w oryginale) lub płaskie płytki.

Środek ciężkości skrzydła trapezowego powinien znajdować się w 0,05÷0,1 średniej cięciwy, licząc od krawędzi natarcia. Dla skrzydła typu „delta” środek ciężkości może się znajdować pod krawędzią natarcia średniej cięciwy.

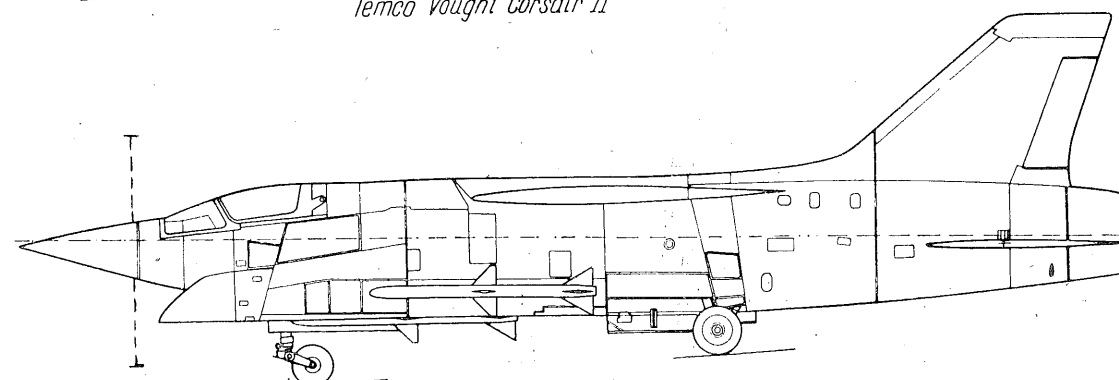
Stateczność podłużna modelu, mającego skrzydła o dużym skosie do tyłu, wzrośnie, jeżeli zastosu-



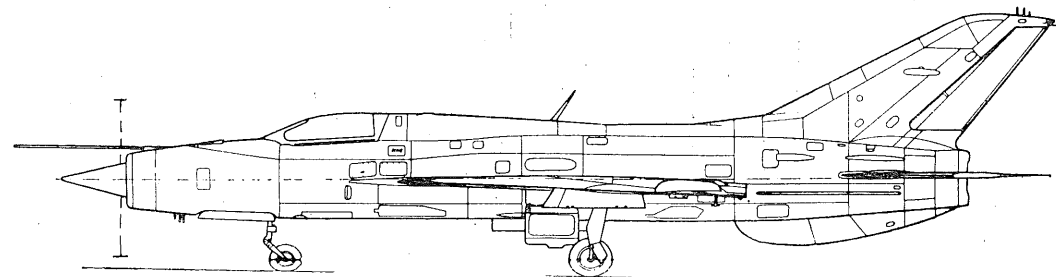
9-11. Szkic samolotu odrzutowego FIAT G-91



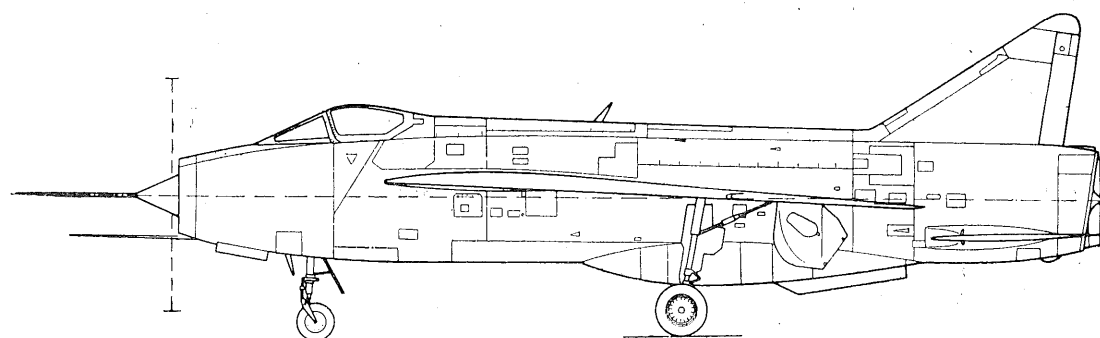
Temco Vought Corsair II



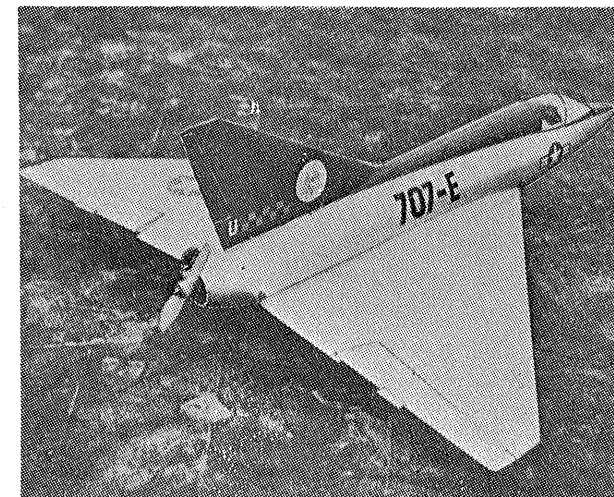
Chance Vought Crusader



English Electric Lightning

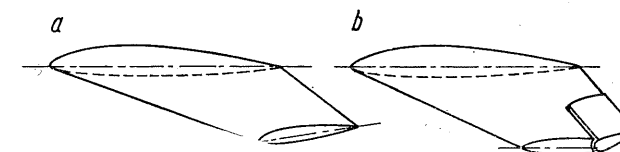


Dassault Mirage IIIc



9-13. Model samolotu odrzutowego napędzany śmigłem pchającym (foto autora)

jemy niewielkie ujemne zwichrzenie skrzydeł na końcach. Można to uzyskać dwoma sposobami. Pierwszy sposób (rys. 9-14a) polega na równomiernym zwichrzeniu skrzydła w ten sposób, że jego koniec ma kąt nastawienia o około 3° mniejszy od nasady. Skrzydło wykonuje się normalnie, a zwichrzenie nadaje się mu w czasie impregnowania, przez odpowiednie zamocowanie na desce, w pozycji skróconej. Po wyschnięciu zwichrzenie zostanie zachowane. Drugi sposób polega na wychyleniu obu lotek do góry (rys. 9-14b).



9-14. Sposoby podłużnego ustatecznienia modeli o skośnych skrzydłach

Pewien kłopot może nam sprawić prawidłowe prowadzenie linek uwięzi przy płacie skośnym, ponieważ linki będą wychodziły przed krawędź natarcia. Trzeba je koniecznie prowadzić na końcu płata przez zamontowanie odpowiedniego wspornika z drutu lub rurki, posiadającego przeloty do linek. Sylwetka odrzutowca nic na tym nie traci, gdyż wspornik może być wykonany w formie nadajnika prędkościomierza, bardzo często montowanego na samolotach w ten sposób.

Wszystkie pozostałe zasady projektowania dotyczące stateczności i sterowności pozostają takie same, jak dla zwyczajnych modeli na uwięzi. Duża pewność i precyzja działania wielokanałowych nowoczesnych aparatów do zdalnego kierowania (zwłaszcza aparatów typu proporcjonalnego) pozwala na zastosowanie napędu śmigłowego o dużej mocy również do modeli samolotów odrzutowych i uzyskanie dynamicznego, szybkiego modelu znacznie lepiej oddającego charakter lotu odrzutowca. Możliwe jest nawet wykonywanie takimi modelami myśliwskich figur akrobacji bojowej oraz budowanie bardzo interesujących modeli nowoczesnych samolotów komunikacyjnych. Modele takie można nawet budować z zestawów. Przykładowy model BOEING 727 napędzany jest silnikiem o pojemno-

ści 10 cm^3 , jego rozpiętość wynosi 1780 mm , obciążenie powierzchni skrzydła ponad 100 G/dm^2 , właściwości lotne bardzo dobre; model jest prawidłowy w pilotażu i bardzo stateczny w locie. Możliwość adaptacji napędu śmigłowego (pojedynczym silnikiem) do modeli samolotów tego typu przedstawione jest poglądowo na rysunkach 9-15 i 9-16 w odniesieniu do wspomnianego już samolotu BOEING 727 oraz dodatkowo dla samolotów Jak-40. Jak wynika z rysunków, możliwość zastosowania śmigła w nosowej części kadłuba jest zupełnie realna. Dodatkową korzyścią jest fakt, że samoloty komunikacyjne odznaczają się na ogół dobrą statecznością podłużną. Dla samolotu BOEING 727 wskaźnik stateczności podłużnej wynosi $0,62$, a dla samolotu JAK-40 — $0,76$.

Przy projektowaniu modelu tego typu trzeba pamiętać, że ich rozmiary nie mogą być dowolne. Wynika to wyraźnie z tablicy 9-2. Została ona sporządzona dla dwóch modeli samolotów BOEING 727 (o powierzchni 20 i 40 dm^2) oraz dla modelu samolotu Jak-40 o powierzchni 40 dm^2 .

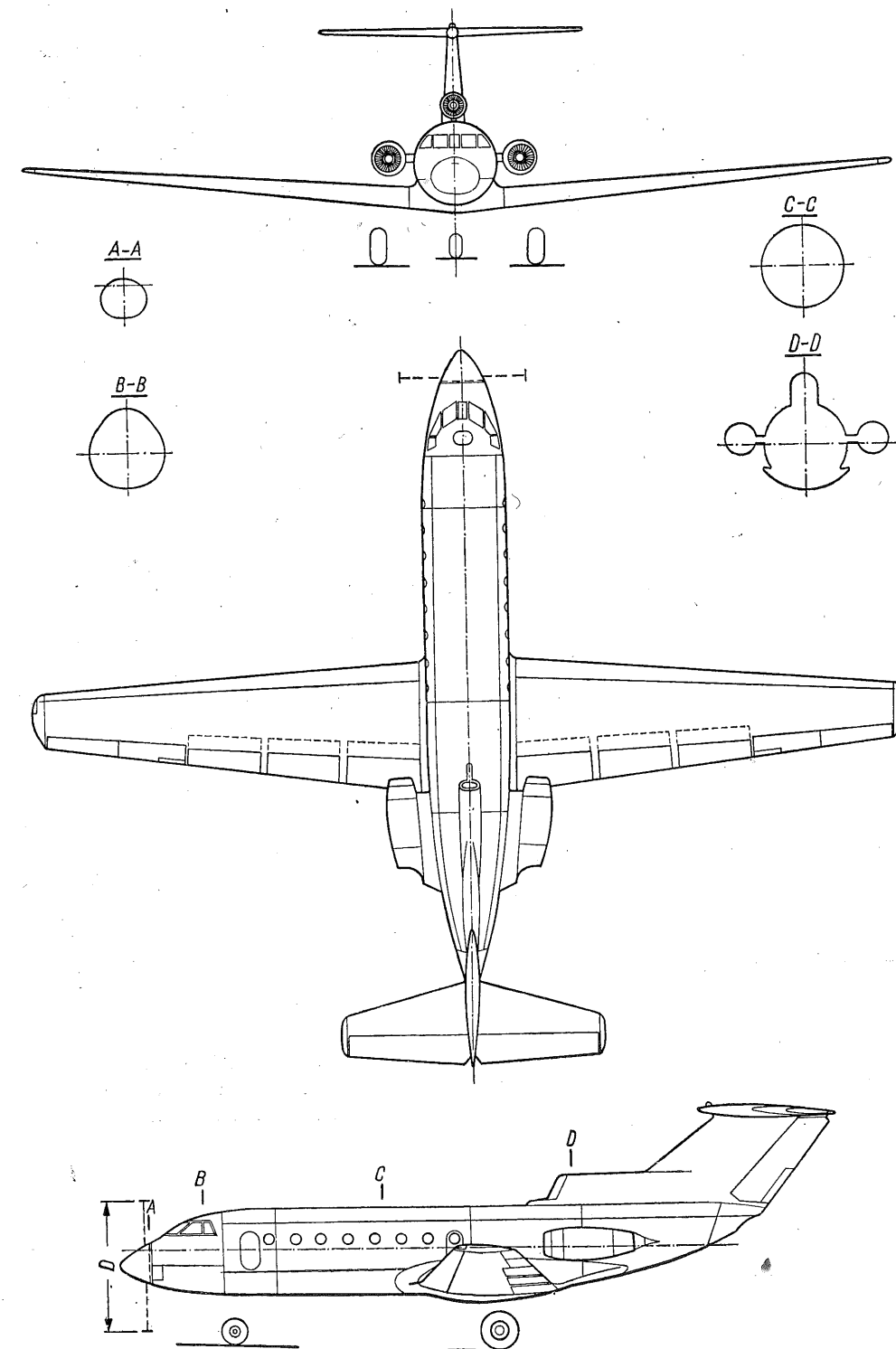
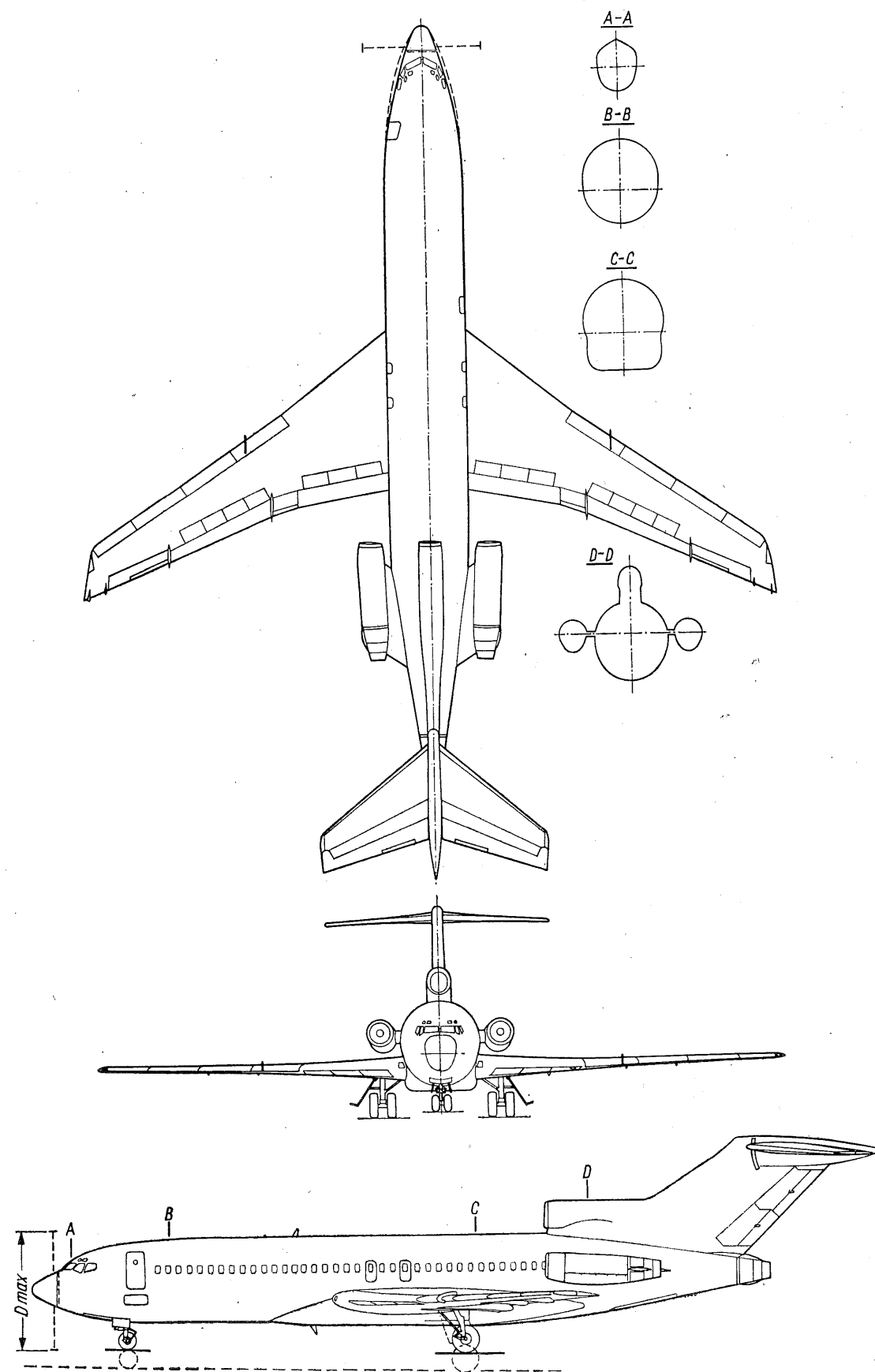
Powierzchnia w granicach $35 \div 45 \text{ dm}^2$ wydaje się optymalna. Przy większej powierzchni zapotrzebowanie na moc przekracza możliwości ogólnie stosowanych silników miniaturowych (przy założeniu obciążenia mocy w granicach 5 kG/KM , czyli ok. $0,4 \text{ kG/cm}^3$). Przy mniejszej powierzchni udział ciężaru kadłuba (bardzo obszernego w stosunku do wielkości skrzydeł), zespołu napędowego i aparatury powoduje nadmierny wzrost ciężaru całkowitego i przekroczenie możliwych do przyjęcia wartości obciążenia powierzchni nośnej. Poza tym małe modele są z punktu widzenia aerodynamiki niekorzystne i ich sprawność oraz stateczność jest zawsze gorsza.

Projektując wieloczynnościowe modele napędzane jednym lub wieloma zespołami śmigłowymi, trzeba się starać o uzyskanie jak najlepszych warunków dla dobrej stateczności — zarówno podłużnej, jak i poprzecznej. Wskaźniki i zalecenia podane w rozdziale 7 powinny być bezwzględnie dotrzymane.

Konstrukcja modeli napędzanych śmigłem

Pod względem konstrukcyjnym „śmigłowe” odrzutowce niewiele różnią się od zwyczajnych modeli. Te same metody, które poznaliśmy przy omawianiu konstrukcji modeli swobodnie latających i na uwięzi, można stosować do budowy redukcyjno-latających odrzutowców napędzanych śmigłem.

Może nam się wydawać, że będziemy mieli dużo kłopotu z konstrukcją i budową kadłuba. Trudności te są jednak pozorne, ponieważ konstrukcję można rozwiązać jako skorupową, pokrywając balsowymi listewkami prosty szkielet, którego zadaniem będzie tylko nadanie kształtu. Zamocowanie, oprofilowanie i zasilanie silnika również rozwiązuje się tak jak w innych, już opisanych modelach. Podobnie z konstrukcją płaszczyzn nośnych. W modelach na uwięzi można sobie pozwolić na cięższe rozwiązanie i skorupowe pokrycie nie tylko kadłuba, ale również skrzydeł i stateczników. Trzeba na to jednak mieć dużo balsu bardzo dobrego gatunku. Doskonałym materiałem na modele tego typu jest styropian.



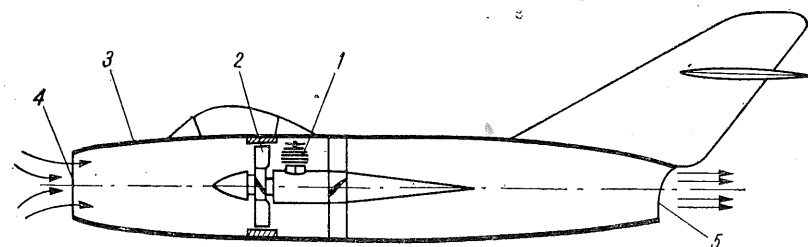
Tablica 9-2

Analiza przydatności modeli samolotów komunikacyjnych BOEING 727 i Jak-40 do napędu śmigłowego

Cechy charakterystyczne		BOEING 727	Jak-40
Powierzchnia skrzydła [dm ²]		20	40
Rozpiętość [mm]		1240	1750
Wymagany silnik [cm ³]		6	10
Rozmiary kadłuba [mm]	długość	1320	1860
	średnica	145	205
Możliwość zastosowania śmigła nosowego o Ø [mm]		185	260
Wymagana średnica śmigła [mm]		250	300
Konieczność podwyższenia podwozia		tak, o 65 mm	tak, o 40 mm
Ciężary składowe [G]	kadłub, statecznik, pionowy, gondole	1200	2000
	podwozie	200	300
	skrzydła, statecznik poziomy	400	700
	silnik, śmigło, zbiornik	300	500
	aparatura RC	500	500
Ciężar całkowity [G]		2600	4000
Obciążenie powierzchni skrzydła [G/dm ²]		130	100
Ocena stateczności		zła	dobra
Ogólna ocena przydatności		zła	dobra

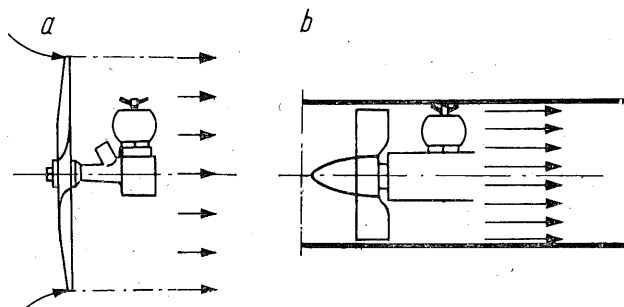
Modele samolotów odrzutowych o napędzie tunelowym

Najbardziej „odrzutowy” spośród wszystkich rodzajów napędu, stosowanych w modelarstwie, jest niewątpliwie tzw. napęd tunelowy. Umożliwia on zbudowanie modelu o niczym nie skażonej sylwetce i uzyskanie szybkiego, statecznego lotu.



9-17. Schemat modelu o napędzie tunelowym

Prosta zasada oraz możliwość wykonania pracy we własnym zakresie, to główne zalety tego napędu. Schemat podany na rysunku 9-17 wyjaśnia istotę urządzenia wkompowanego w sylwetkę samolotu MiG-15. Jest to jakby odmiana napędu śmigłowego. Źródłem mocy jest zwykły miniaturowy silnik tłokowy (1). Różnica polega na tym, że zamiast zwykłego śmigła zastosowano wentylator 2, o znacznie mniejszej średnicy i większej liczbie łopatek. Zastosowanie dużej liczby krótkich, szerokich łopatek, zamiast dwóch lub trzech smukłych łopatek zwykłego śmigła, pozwala na zastosowanie wentylatora o bardzo małej średnicy. Na przykład dla silnika o pojemności 2,5 cm³ średnica zwykłego śmigła wynosi około 220 mm, zaś średnica wentylatora tylko 100÷115 mm. Dzięki temu wentylator niewiele wystaje ponad cylinder silnika i razem z nim może być umieszczony wewnątrz kadłuba 3, który spełnia rolę tunelu. Obracając się wewnątrz kadłuba zasysa on powietrze poprzez wlot 4, nadaje mu znaczną prędkość i poprzez otwór dyszy wylotowej 5 wypycha je na zewnątrz.



9-18. Porównanie napędu śmigłowego i tunelowego

Różnicę między napędem śmigłowym a tunelowym ilustruje rysunek 9-18. Tam duża średnica i mała prędkość powietrza za śmigłem (rys. 9-18a), tu mała średnica i duża prędkość powietrza tłoczonego przez wentylator (rys. 9-18b). W obu przypadkach rezultatem jest ciąg. Ciąg wytworzony przez wentylator jest jednak mniejszy, ponieważ wentylator jest urządzeniem mniej doskonałym, jeżeli pracuje z tą samą prędkością obrotową co śmigło, a poza tym dochodzą straty na tarcie w tunelu, opory aerodynamiczne itp. Mamy więc źródło napędu, chociaż mniej doskonałe od śmigła, jednak świetnie nadające się do miniaturowych odrzutowców, zwłaszcza w wersji swobodnie latającej, którą jednak trudno było nam zrealizować za pomocą innych sposobów napędu.

Napęd tunelowy, mimo że stosunkowo niedawno został zastosowany po raz pierwszy, zdążył już uzyskać wielką popularność. Złożyło się na to

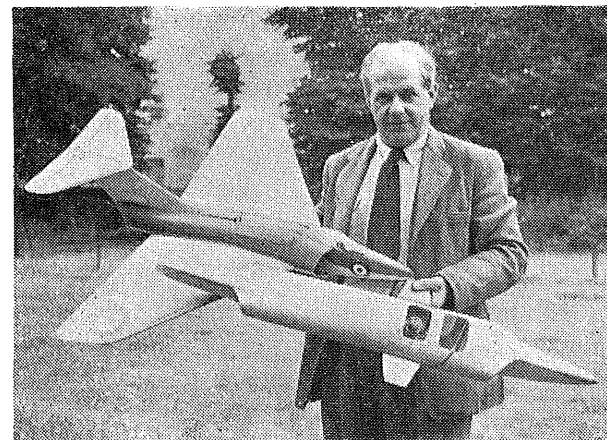
wiele jego zalet. Oto one — w skrócie:

- małe rozmiary umożliwiające budowę niedużych modeli,
- małe siły pochylające model na skrzydło w przeciwieństwie do zwyczajnego napędu śmigłowego, gdzie reakcja od śmigła jest bardzo duża,
- możliwość zastosowania zwykłych silników tłokowych.

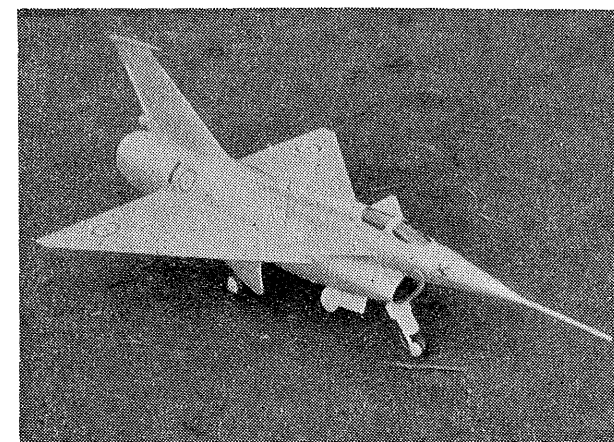
Przy napędzie śmigłowym cały moment niezbędny do obracania śmigła przenosi się poprzez obudowę silnika (w postaci reakcji) na model, zakłócając znacznie stateczność. Z tego powodu modele o napędzie śmigłowym muszą być duże. Przy napędzie tunelowym reakcja silnika oczywiście istnieje, jest ona jednak znoszona przez działanie strumienia powietrza poza wentylatorem na nieruchome łopatki kierujące. Strumień powietrza początkowo skręcony w kierunku obrotów zostaje szybko przez łopatki kierujące wyprostowany, dając siłę skierowaną przeciwnie do działania reakcji silnika. Resztę dopełnia tarcie powietrza o ściany tunelu, tak że w chwili opuszczania dyszy wylotowej strumień powietrza biegnie prosto i w rezultacie nie ma sił przechylających model na skrzydło lub są one bardzo małe.

Ta niezwykle korzystna cecha napędu tunelowego umożliwia budowę małych modeli, nawet o układzie delta, które zdolne są latać z dużą prędkością i to w locie swobodnym. Dzięki temu zwiększa się znacznie efekt lotu i złudzenie podobieństwa. Modele o napędzie tunelowym (rys. 9-19) potrafią wzbijać się szybko i osiągać znaczne wysokości. Ukryty we wnętrzu kadłuba silnik nie czyni wielkiego hałasu; model nadlatuje prawie bezszelestnie. Z rozruchem także nie ma wielkiego kłopotu, ponieważ można to zrobić za pomocą sznurka nawiniętego na rolkę, która znajduje się przed wentylatorem. W tym celu w kadłubie znajduje się odchylana kłapa, umożliwiająca dostęp do wentylatora silnika. Oczywiście, są i wady tego napędu, jak: trudności wykonania odpowiednio lekkiego i mocnego kadłuba, kłopoty z doбором odpowiednio sprawnego wentylatora itp.

Trzeba wyjaśnić jeszcze jedną możliwą wątpliwość. Niektórzy sądzą, że w napędzie tunelowym ukryta jest jakaś wielka tajemnica, że wewnątrz modelu znajdują się specjalne dysze, które powodują odrzut i sprawiają, że model dobrze lata.



9-19. Model o napędzie tunelowym zbudowany przez angielskiego modelarza P.E. Normanna — specjalistę w tej dziedzinie



9-20. Francuski myśliwiec GRIFFON — korzystny dla napędu tunelowego układ samolotu (foto autora)

Otóż nie — model tunelowy to taki latający odkurzac: z przodu ssie, z tyłu dmucha. Żadne przemysłne dysze nie pomogą mu w locie, lecz wręcz przeciwnie, spowodują dodatkowy opór w przepływie powietrza i ciąg będzie mniejszy. Przy napędzie tunelowym obowiązuje więc taka zasada: jak najmniej oporów w tunelu, jak największe otwory wlotowe i wylotowe — tunel jak najkrótszy. Wybór odpowiedniego samolotu. Zwracamy uwagę na dwa zasadnicze względy: przydatność samolotu odrzutowego do zastosowania tunelowego napędu oraz stateczność przyszłego modelu w locie.

Wiemy, że gwarancją uzyskania dużego ciągu jest możliwie niewielki opór przepływu powietrza wewnątrz tunelu. Dlatego samolot dobrze nadający się na model tunelowy powinien mieć następujące cechy:

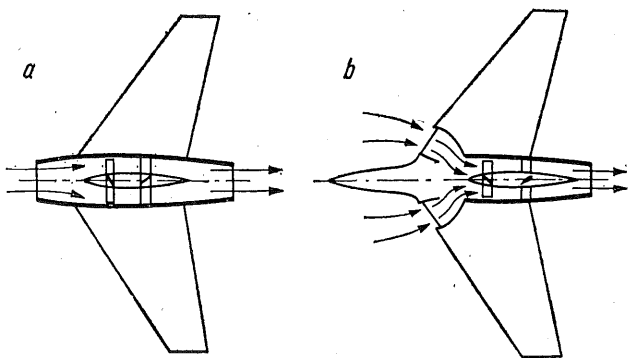
- prosty przepływ powietrza — wlot umieszczony na wprost wylotu, jak w odrzutowcach GRIFFON (rys. 9-20), MiG-15, SABRE, MYSTERE itp.; wszystkie zmiany w kierunku przepływu, na przykład przy wlotach u nasady skrzydeł, powodują straty (rys. 9-21);
- jak największą powierzchnię wlotu i wylotu w stosunku do maksymalnego przekroju kadłuba, który również powinien być możliwie duży ze względu na średnicę wentylatora; pożądane jest, aby średnice wlotu i wylotu były równe co najmniej 0,7 maksymalnej średnicy kadłuba (średnica wylotu może być nieco mniejsza); zbyt małe przekroje otworów wlotowych i wylotowych są zazwyczaj powodem znacznych strat i małej sprawności wentylatora;
- możliwie jak najmniejszą odległość pomiędzy wlotem a wylotem — im krótsza droga przepływu powietrza wewnątrz modelu, tym mniejsze opory przepływu, tym większy ciąg; pod tym względem układ jak na rys. 9-19 wydaje się korzystniejszy od układu samolotu MiG.

Jeśli samolot ma względnie duży wylot powietrza, a mały i niekorzystnie umieszczony wlot, można sobie poradzić wykorzystując wszystkie możliwe otwory (nawet utworzone sztucznie) w celu ułatwienia przepływu powietrza. Rysunek 9-22 ilustruje, jak wybrnięto z podobnego kłopotu w mo-

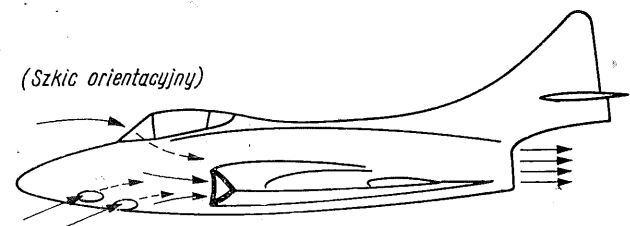
delu samolotu COGUAR. Samolot ten ma niewielkie wloty u nasady skrzydeł. Do dodatkowego zassania wykorzystano otwór w osłonie kabiny (brak szyby czołowej) oraz cały szereg małych otworów u spodu nosa kadłuba, imitującego niejako otwory broni pokładowej.

Ze względu na stateczność przyszłego modelu wybrany samolot powinien mieć:

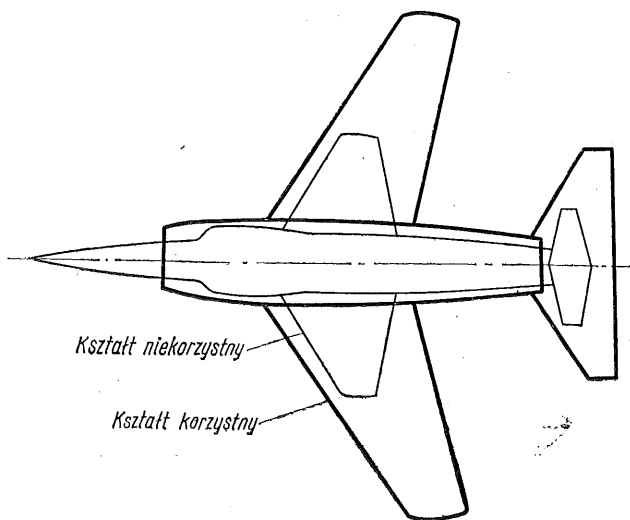
- możliwie dużą powierzchnię i rozpiętość skrzydeł w stosunku do rozmiarów kadłuba; jest to również konieczne do uzyskania umiarkowanego obciążenia powierzchni nośnej, a co za tym idzie — nie za dużej prędkości lotu; przy dużych kadłubach i małych skrzydłach przeważa ciężar kadłuba i wskutek tego uzyskanie właściwego obciążenia powierzchni jest bardzo trudne;
- niezbyt ostre zakończenie skrzydeł i stateczników; wąskie końce płatów źle pracują w modelarskich warunkach;



9-21. Korzystne (a) i niekorzystne (b) ukształtowanie przelotów powietrza w modelu tunelowym



9-22. Wykorzystanie dodatkowych otworów wlotowych do polepszenia sprawności napędu



9-23. Porównanie korzystnej i niekorzystnej sylwetki samolotu do ewentualnej przeróbki na model tunelowy

- układ średniopłata lub górnopłata, możliwie bez ujemnego wzniosu, który w modelu swobodnie latającym nie zawsze może być stosowany; układ średniopłata jest dodatkowo korzystny ze względów konstrukcyjnych (możliwość wspólnego zamocowania silnika i skrzydła);

- w modelach o układzie normalnym jest pożądane, aby statecznik poziomy był jak największy; odnosi się to zwłaszcza do samolotów, które nie mają dużego skosu skrzydła.

Na rysunku 9-23 naniesiono dwie sylwetki samolotów: korzystną ze względu na stateczność — linia gruba, oraz niekorzystną — linia cienka.

Przed zdecydowaniem się na ten czy inny typ samolotu trzeba się zastanowić, czy można rozwiązać konstrukcję modelu w sposób możliwie prosty, stosując dostępne nam materiały (konstrukcję modeli samolotów odrzutowych, omówimy nieco dalej). Decydujący wpływ ma kształt kadłuba. Skrzydła i stateczniki będziemy konstruować według uprzednio poznanych metod. Kadłuby o skomplikowanych kształtach, zmiennym kształcie przekroju i licznych przejściach są bardzo kłopotliwe zarówno do opracowywania konstrukcji, jak i budowy. Najkorzystniejsze są kadłuby o przekroju kołowym — jak samolotów MiG-15, Ła-17 itp.

Projektowanie modeli o napędzie tunelowym

Dobór rozmiarów wentylatora. Do modeli tunelowych stosuje się przeważnie wentylatory osiowe, ponieważ dają one małe straty przepływu, są łatwe do wykonania, zamontowania i obsługi. Wentylatory promieniowe (odśrodkowe) stosuje się rzadko, choć możliwości takie istnieją.

Właściwe zaprojektowanie wentylatora jest bardzo ważne dla całej konstrukcji, ponieważ od jego rozmiarów zależy wielkość modelu.

Rozmiary wentylatora dobiera się zależnie od maksymalnej mocy silnika i od prędkości obrotowej, przy jakiej silnik tę moc rozwija. Dlatego, przed przystąpieniem do projektowania, konieczne trzeba wiedzieć, jakiej mocy i jakiej prędkości obrotowej można się spodziewać od silnika.

Tablica 9-3 umożliwia dobór właściwego wentylatora do silników o różnej pojemności.

Tablica 9-3
Dobór średnicy wentylatora tunelowego do miniatury silników tłokowych

Pojemność silnika [cm ³]	Orientacyjna moc [KM]	Zakres prędkości obrotowej [obr/min]	Średnica wentylatora [mm]
0,8 ÷ 1,5	0,12 ÷ 0,24	18 ÷ 20 000	75 ÷ 90
1,5 ÷ 2,5	0,20 ÷ 0,40	16 ÷ 18 000	90 ÷ 105
2,5 ÷ 3,5	0,30 ÷ 0,50	16 ÷ 18 000	100 ÷ 115
3,5 ÷ 5,0	0,40 ÷ 0,60	14 ÷ 16 000	110 ÷ 125
5,0 ÷ 7,5	0,50 ÷ 0,70	12 ÷ 16 000	125 ÷ 140
7,5 ÷ 10,0	0,70 ÷ 1,00	12 ÷ 14 000	140 ÷ 155

Uwaga: dane zawarte w tablicy odnoszą się do nowoczesnych silników zawodniczych.

Do napędu swobodnie latających modeli tunelowych najlepsze są silniki o pojemności od 1,0 do 2,5 cm³. Przy mniejszych silnikach są trudności z uzyskaniem odpowiedniego ciągu, przy większych natomiast kłopoty z uruchomieniem silnika i z regulacją modelu. Większe silniki nadają się lepiej do modeli na uwięzi i zdalnie kierowanych.

Stosować należy wyłącznie silniki o dużych prędkościach obrotowych i dużej mocy, to znaczy silniki jak najbardziej nowoczesne.

Dane z tablicy 9-3 odnoszą się do wentylatora, którego proporcje podane są na rysunku 9-26.

Dobór rozmiarów modelu. Jak wspomnieliśmy, napęd tunelowy nie odznacza się zbyt wielką sprawnością. W związku z tym model o tym rodzaju napędu musi być bardziej wnikliwie i metodycznie zaprojektowany. Dotyczy to zarówno ogólnego ciężaru, jak i rozmiarów miniatury odrzutowca.

Sprawdzono doświadczalnie, że stosunek całkowitego ciężaru do ciągu wytworzonego przez zespół napędowy (na postoju) dobrze latających modeli tunelowych zawiera się w granicach 2 ÷ 3. Oznacza to, że ciężar może być 3-krotnie większy od ciągu statycznego.

Ponieważ ciąg jest trudny do teoretycznego określenia i zależy od ogólnej sprawności zespołu napędowego, aby uniknąć niepowodzeń, należałoby najpierw wykonać do posiadanego silnika kompletny zespół napędowy, zmierzyć jego ciąg i dopiero wówczas projektować model. Jest to najwłaściwsza metoda prowadząca do najlepszych rezultatów.

Kolejność postępowania powinna być następująca:

- zaprojektować i zbudować zespół napędowy (patrz rys. 9-31);
- wykonać pomiar ciągu, np. przez ustawienie zespołu na wózku i zmierzenie odkształcenia przytrzymującej go gumki lub sprężynki; mierząc ciąg, należy zastosować dyfuzor i dyszę wylotową z kartonu — taką, jaka będzie zastosowana na modelu; można też, próbując różne dysze i różne dyfuzory, dobrać takie ich przekroje, przy jakich straty są najmniejsze, a ciąg maksymalny;
- gdy znamy ciąg P , określamy całkowity ciężar modelu Q :
 - dla modeli swobodnie latających $Q = 3 \times P$
 - dla modeli zdalnie kierowanych i na uwięzi $Q = 2 \times P$;
- wychodząc z konkretnych wymiarów (średnicy obudowy) zespołu napędowego wyznaczamy minimalne rozmiary modelu — średnicę kadłuba lub gondol silnikowych, następnie rozpiętość i długość modelu oraz powierzchnię skrzydła;
- sprawdzamy, czy obciążenie powierzchni nośnej (dla wyznaczonego ciężaru i obliczonej powierzchni) będzie prawidłowe; powinno ono wynosić:
 - dla modeli swobodnie latających oraz lekkich jedno-czynnościowych zdalnie kierowanych $30 \div 45 \text{ G/dm}^2$
 - dla wieloczynnościowych modeli zdalnie kierowanych $40 \div 60 \text{ G/dm}^2$
 - dla modeli na uwięzi $50 \div 90 \text{ G/dm}^2$

jeżeli obciążenie wypada zbyt duże, rozmiary modelu można powiększyć i wówczas zespół napędowy nie będzie całkowicie wypełniał przekroju kadłuba czy gondoli;

- dla ustalonych ostatecznie rozmiarów modelu sprawdzamy, czy są szanse utrzymania ciężaru w prawidłowych granicach.

Sumujemy więc rzeczywiste i przewidywane ciężary poszczególnych elementów modelu według schematu:

- | | |
|-------------------|------------------------|
| — zespół napędowy | — ciężar znany, |
| — kadłub | — ciężar przewidywany, |
| — skrzydła | — ciężar przewidywany, |
| — stateczniki | — ciężar przewidywany, |
| — podwozie | — ciężar przewidywany, |

Określany w ten sposób ciężar modelu bez wyposażenia odpowiada ciężarowi modelu swobodnie latającego. W przypadku modeli zdalnie kierowanych dodać musimy jeszcze ciężar aparatury, a dla modeli na uwięzi — ciężar mechanizmów sterowania i oczywiście ciężar wszystkich dodatkowych mechanizmów (chowane podwozie itp.) oraz dodatkowego wyposażenia (np. urządzenia kabiny).

Gdyby obliczony ciężar był zbyt duży, trzeba zrezygnować kolejno: z wyposażenia, mechanizacji, aparatury, podwozia. Jak widzimy, projektując model trzeba pogodzić różne sprzeczne nieraz wymagania. Wyjaśnimy to na przykładzie.

Jeżeli dysponujemy słabym silnikiem, projektujemy model swobodnie latający i staramy się, aby miał on możliwie małe obciążenie powierzchni skrzydła przy jak najmniejszym ciężarze własnym. Jest to konieczne z tego względu, że zbyt duże obciążenie pociąga za sobą dużą prędkość lotu, a więc duży opór i może się zdarzyć, że moc silnika będzie niewystarczająca. Ponieważ ciężaru modelu na ogół nie udaje się znacznie obniżyć, stosowanie małych obciążeń odbywa się głównie poprzez wzrost powierzchni. Powstaje więc sprzeczność — musimy zbudować model lżejszy, lecz większy. Budowa modeli tunelowych do słabych silników nie jest więc łatwa.

Załóżmy dla przykładu, że chcemy zaprojektować tunelowy model samolotu MiG-15. Dysponujemy popularnym silnikiem o pojemności 2,5 cm³. Z tablicy 9-3 znajdujemy, że dla tego silnika średnica wentylatora powinna wynosić 115 mm. Zakładając, że luz pomiędzy łopatkami wentylatora a wewnętrzną powierzchnią skorupowej konstrukcji kadłuba wyniesie 1,5 mm na stronę, a grubość skorupy w tym miejscu 2 mm, zewnętrzna średnica kadłuba wyniesie: $115 + (2 \times 1,5) + (2 \times 2) = 115 + 7 = 122 \text{ mm}$. Dla takiej średnicy kadłuba rozpiętość modelu wyniesie 850 mm, długość 720 mm, powierzchnia skrzydła 12,7 dm².

Następnie obliczamy ciężar modelu:

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| — zespół napędowy | 180 G |
| — kadłub | ok. 250 G |
| — skrzydła | ok. 120 G |
| — statecznik poziomy | ok. 20 G |
| — podwozie (nie przewidziane) | — |
| Razem: | 570 G |

Dzieląc ciężar wyznaczony przez powierzchnię skrzydła wyznaczamy obciążenie: $570 : 12,7 = 45 \text{ G/dm}^2$.

Sprawdzamy, że wyznaczone obciążenie znajduje się jeszcze w przepisowych granicach.

Jeżeli średnica kadłuba, proporcjonalna do odpowiedniej powierzchni skrzydła, jest niewiele większa od średnicy wentylatora, wynikającej z tablicy 9-3, można średnicę wentylatora powiększyć, wykonując nieco większe łopatki. Zabieg ten stosujemy, gdy różnice pomiędzy średnicami nie przekraczają 15%. W skrajnym przypadku można zwiększyć łopatki o 1/3.

Jeżeli średnica kadłuba jest znacznie większa od średnicy wentylatora, wynikającej z tablicy 9-3, to należy umieścić tunel wentylatora we wnętrzu kadłuba.

W przeciwnym przypadku, kiedy z proporcji modelu wynika, że wentylator powinien być mniejszy od wyznaczonego z tablicy 9-3, można w celu zachowania tego samego poboru mocy zwiększyć liczbę łopatek do 9, 10 lub nawet 12. Po zastosowaniu tego zabiegu prędkość obrotowa silnika nie powinna wzrosnąć powyżej wartości nominalnej, co należy sprawdzić obrotomierzem, chociażby rezonansowym.

Modele o napędzie tunelowym w wersji na uwięzi są rzadziej budowane. Pamiętajmy, że model na uwięzi lata z większą prędkością, musi pokonać dodatkowo opór uwięzi i potrzebuje znacznie większej mocy do napędu. Przy zastosowaniu nowoczesnych szybkobieżnych silników trudności te można pokonać. Nadają się tutaj tylko nowoczesne silniki o pojemności nie mniejszej niż 2,5 cm³, przede wszystkim z zapłonem żarowym. Rozmiary modeli na uwięzi jedno- i wielosilnikowych określamy podobnie jak poprzednio, biorąc za podstawę ciąg wykonanego zespołu napędowego. Staramy się utrzymać przepisowy ciężar i obciążenie, dążąc jednocześnie do tego, aby średnica wentylatora odpowiadała wymiarom kadłuba czy gondoli, tak aby było można zastosować lekką skorupowa konstrukcję tunelu.

Na model wybieramy taki typ samolotu wielosilnikowego, który ma dużą średnicę gondoli silnikowych, w stosunku do rozmiarów skrzydła i średnicy kadłuba. Spośród znanych dwusilnikowych samolotów odrzutowych następujące typy najbardziej odpowiadają tym warunkom: radzieckie Ił-28, Jak-25 i Tu-35, angielski GLOSTER METEOR, francuski VAUTOUR itp.

Weźmy jako przykład samolot Ił-28, popularny w naszym lotnictwie, napędzany dwoma silnikami 2,5 cm³. Przy założeniu, że średnica 10-łopatkowego wentylatora będzie wynosiła 95 mm, przy zewnętrznej średnicy gondoli 100 mm, rozpiętość całego modelu wyniesie 1360 mm, a powierzchnia skrzydła około 18 dm². Przy dostatecznie lekkim wykonaniu model będzie latał poprawnie.

Stateczność modeli tunelowych

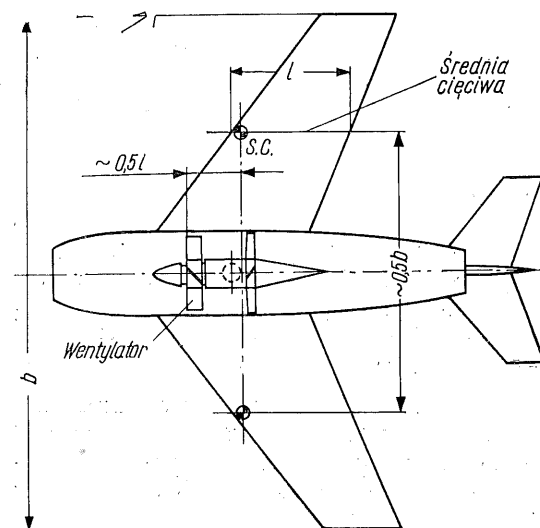
Środek ciężkości i powierzchnia statecznika poziomego powinny być dobrane bardzo dokładnie, według danych z poprzednich rozdziałów.

Przeciętnie dla swobodnie latających modeli o układzie typowym środek ciężkości powinien znajdować się w granicach $20 \div 25\%$ średniej cięciwy,

licząc od krawędzi natarcia. Najkorzystniejsze położenie środka ciężkości trzeba dobrać doświadczalnie w czasie próbnych lotów. W tym celu trzeba przewidzieć możliwość umieszczenia niewielkiego balastu wyważającego.

W stosunku do modeli o układzie latającego skrzydła, a zwłaszcza dla modeli typu delta wymagania są jeszcze ostrzejsze i dobór położenia środka ciężkości musi być bardziej precyzyjny. Środek ciężkości klasycznej delty (skrzydła trójkątnego) powinien znajdować się w okolicach krawędzi natarcia średniej cięciwy lub nieco poza nią.

Właściwe wyważenie modelu uzyskuje się przez odpowiednie umieszczenie zespołu napędowego wewnątrz tunelu. Ponieważ model bez napędu zawsze jest ciężki „na ogon”, zespół napędowy musi być umieszczony przed środkiem ciężkości, tak jak pokazano na rysunku 9-24. Trzeba dążyć do tego, aby otrzymać przepisowe wyważenie bez potrzeby stosowania balastu. Balast może służyć jedynie do niewielkich poprawek w ramach regulacji^{*)}.



9-24. Umieszczenie zespołu przed projektowanym środkiem ciężkości, gwarantujące prawidłowe wyważenie modelu tunelowego

Profile. Do skrzydeł tunelowych odrzutowców swobodnie latających stosuje się profile płaskowypukłe o grubości zależnej od wymagań zachowania proporcji, jednak nie mniejszej niż $8 \div 9\%$. Nadają się tu profile typu CLARK Y. W przypadku smukłych skośnych skrzydeł w celu polepszenia stateczności podłużnej można stosować niewielkie ujemne zwężenie końców skrzydła rzędu $2 \div 3^\circ$. Przy skrzydłach o niedużym wydłużeniu lub trójkątnych wystarczy niewielkie ($5 \div 10^\circ$) podgięcie krawędzi spływu do góry. Podgięcie to trzeba wykonać w czasie montażu skrzydła. W modelach o układzie latającego skrzydła trzeba przewidzieć możliwość regulacji tego podgięcia poprzez zastosowanie ruchomych sterów (lotek) na końcach skrzydła. Do modeli na uwięzi stosuje się profile dwuwypukłe typu NACA-2309 i 2409 lub NACA-23012 i 2412. Stateczniki zaopatrujemy jak zwykle w profil symetryczny lub płaski.

*) Znając ciężary poszczególnych elementów modelu, można obliczyć najkorzystniejsze położenie zespołu napędowego niezbędne do uzyskania potrzebnego wyważenia. (rozdz. 2).

Kąty nastawienia skrzydeł i stateczników należy dobrać odpowiednio do typu modelu, według danych z rozdziałów 5, 6 i 7.

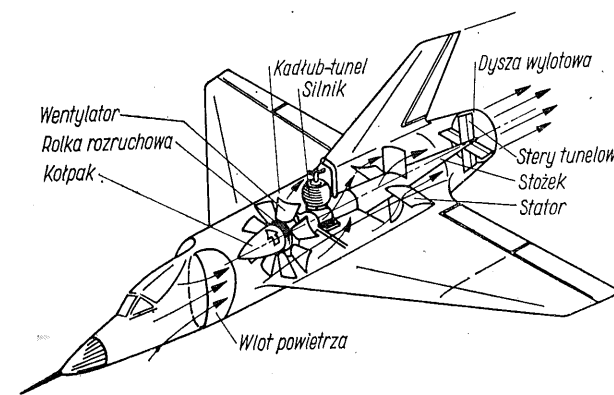
Dzięki korzystnym właściwościom napędu tunelowego poprzeczna stateczność modelu może być zachowana bez specjalnych i rażących zabiegów. Jeżeli model ma silnie skośne skrzydła i wysoko umieszczony statecznik poziomy, jak np. MiG-15, to można uzyskać pozytywną stateczność poprzeczną nawet bez stosowania wzniosu skrzydeł.

Jeżeli statecznik poziomy umieszczony jest nisko, a statecznik pionowy jest również niezbyt wielki, jak np. w samolocie HAWKER HUNTER, trzeba zastosować niewielki wznios $1 \div 3^\circ$. Przy skrzydłach prostych, jak u Il-28, wznios musi być większy — w granicach $3 \div 6^\circ$.

Najkorzystniej będzie, jeżeli możliwość zmiany wzniosu zostanie przewidziana konstrukcyjnie, co pozwoli na poprawienie stateczności modelu podczas oblatywania.

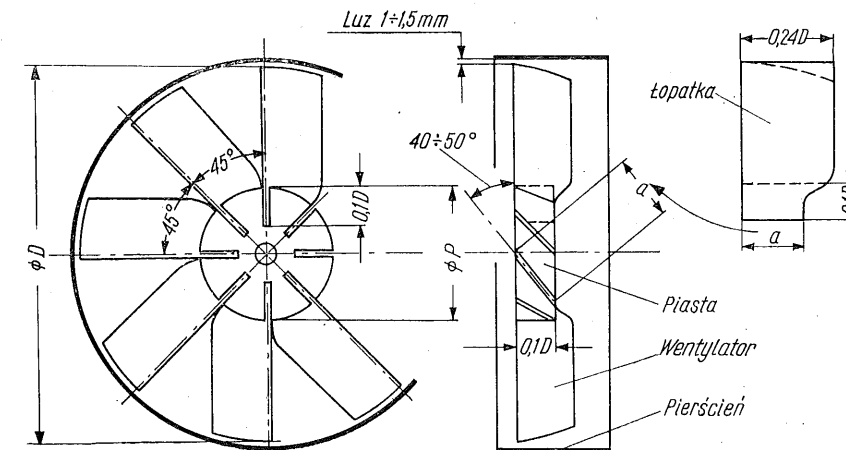
Konstrukcja modeli tunelowych

Pokazany na rysunku 9-25 perspektywiczny przekrój modelu tunelowego orientuje ogólnie, jak przedstawia się koncepcja całości. Widać wyraźnie rozmieszczenie poszczególnych elementów.



9-25. Ogólna zasada konstrukcji modelu tunelowego

Kadłub wykonany jest jako cienkościenne skorupowa rura-tunel o zmiennym przekroju. We wnętrzu kadłuba umieszczony jest zespół napędowy, którego zasadniczym elementem jest zwykły silnik



Rodzaj silnika	Popularny	Wyczynowy
Średnica płasty	0,35 D	0,5 D
Liczba topatek	8	6

9-26.
Konstrukcja i proporcje najprostszego wentylatora

spalinowy napędzający wielopłatkowy wentylator osiowy. Na osi wentylatora, z przodu, zamocowana jest rolka, służąca do nawinięcia rozruchowego sznurka, oraz opływowy kołpak zmniejszający straty przepływu.

Za silnikiem umieszczony jest zbiornik paliwa, a dalej pierścień z nieruchomymi łopatkami kierującymi, tworzącymi tzw. stator, oraz stożkowe profilowanie zmniejszające opór spływu powietrza poza silnikiem. Z tyłu kadłuba u wylotu dyszy umieszczone są stery służące do regulacji lotu silnikowego. Mimo niewielkiej powierzchni stery te są bardzo skuteczne ze względu na dużą prędkość powietrza wypływającego z tunelu.

Konstrukcja płaszczyzn nośnych jest normalna. Model nie ma podwozia, aby nie przysparzać ciężaru i oporu. Startuje z ręki i ląduje na kadłubie, który jest w tym celu specjalnie wzmocniony w swej dolnej części.

Opisana tutaj koncepcja konstrukcyjna jest najbardziej typowa dla modeli tunelowych.

Omówimy teraz poszczególne elementy modelu.

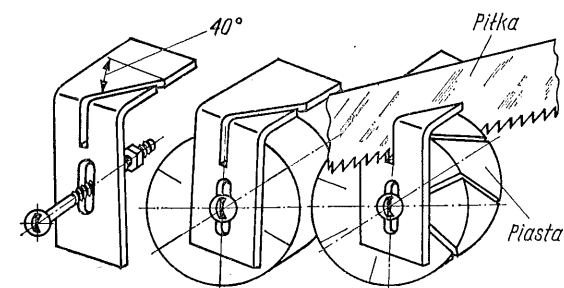
Wentylator. Konstrukcję oraz proporcje sprawdzonego bardzo prostego wentylatora przedstawiono na rysunku 9-26. Wentylator tego typu jest szczególnie korzystny dla niezbyt wysiłonych silników o umiarkowanych osiąгах. Pracę rozpoczynamy od wyznaczenia wymiarów piasty i pojedynczej łopatki. Piastę wykonujemy ze sklejki. Jeśli nie mamy sklejki o żądanej grubości, należy ją skleić z kilku krawężków cieńszej sklejki. Następnie należy wywiercić odpowiedni otwór, który musi znajdować się dokładnie w środku krawężka. Najlepiej założyć śrubę w wywiercony otwór i zewnętrzną powierzchnię piasty obtoczyć. Teraz trzeba wykonać w piastie odpowiednią liczbę równo rozłożonych skośnych nacięć do zamocowania łopatek. Aby operację tę wykonać możliwie jak najdokładniej, musimy sporządzić z blachy przyrząd, który będzie prowadził piłkę i umożliwi prawidłowe wykonanie nacięć dokładnie pod takim kątem, jaki ma nasz przyrząd. Sposób wykonania przyrządu pokazano na rysunku 9-27.

W modelach swobodnych stosuje się kąt nachylenia łopatek około 40° , w modelach na uwięzi — 50° . Natęcenia należy wykonać cienką płaską piłką

może być do metalu) dokładnie na żadaną głębokość (0,1 D) oraz w ten sposób, aby szerokość powstałej szpary nie była większa od grubości łopatki. Najlepszym materiałem na łopatki jest fibra. Gdy fibry brak, można ją zastąpić sklejką. Nie należy stosować łopatek metalowych, gdy nie znamy dobrze wytrzymałości i tzw. zmęczenia właściwości materiału. Dotyczy to zwłaszcza łopatek z duralu. Pod wpływem drgań metalowe łopatki łatwo pękają, niszcząc kadłub, nie mówiąc już o niebezpieczeństwie pokaleczenia osób znajdujących się w pobliżu modelu. Łopatki małych wentylatorów (średnica do 100 mm) wykonuje się z fibry lub sklejkę o grubości 1 mm, przy większych średnicach należy zastosować materiał o grubości 1,2 lub 1,5 mm.

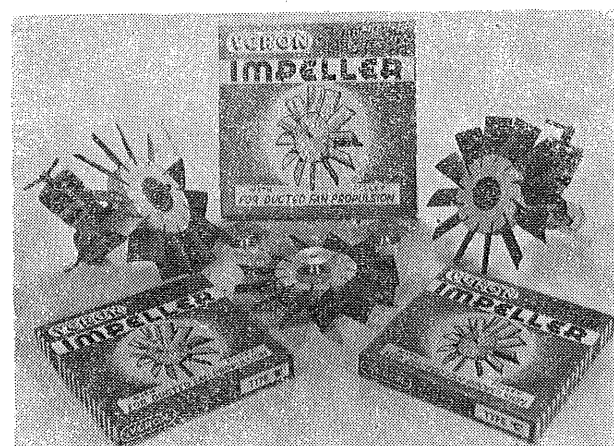
Po wykonaniu odpowiedniej liczby łopatek zaklejamy je w piaście, używając dobrego kleju lub żywicy epoksydowej. Zaklejając łopatki musimy uważać, aby ich przednie krawędzie leżały dokładnie w jednej płaszczyźnie. Po wyschnięciu kleju wzmacniamy zamocowanie przez wbicie cienkich gwoździków.

Teraz przycinamy końce łopatek, aby miały wszędzie tę samą odległość od osi. Z tej przyczyny średnica wentylatora przed obcięciem musi być nieco większa.



9-27. Przyrząd do wykonywania nacięć w piaście wentylatora

Po obcięciu trzeba nadać łopatom odpowiednie wygięcie na kształt profilu, tak aby kąt nastawienia łopatki na końcu był nieco mniejszy od kąta osadzenia w piaście. Gotowy wentylator należy uodpornić na działanie paliwa przez kilkakrotne pomalowanie lakierem bezbarwnym lub chemolakiem. Za granicą napęd tunelowy cieszy się wielką popularnością i gotowe, fabrycznie wykonane wentylatory można kupić w sklepach. Rysunek 9-28 przedstawia takie właśnie wentylatory.



9-28. Fabrycznie produkowane 12-łopatkowe wentylatory do napędu tunelowego (foto autora)

Do części obracających się, oprócz wentylatora, należy rolka rozruchowa oraz kołpak.

Rolkę rozruchową można wykonać rozmaitymi metodami. Najlepiej wytoczyć ją z duralu. W celu zwiększenia tarcia pomiędzy rolką a sznurkiem wewnętrzny dysk rolki może mieć nacięcia.

Jeśli chcemy uniknąć toczenia, montujemy drewnianą rolkę z krążków sklejkowych w sposób pokazany na rysunku 9-29a. Środkowy krążek rolki ma wygięcie, w które wchodzi supełek na końcu sznurka. Zabezpiecza to przed ślizganiem się sznurka po rolce. Na rysunku 9-29b pokazano sposób zamontowania na wale silnika. Ponieważ w drewnianej rolce nie można robić podtoczeń, aby jej nie osłabić, wał silnika będzie na pewno za krótki i do zamocowania trzeba będzie użyć specjalnie przedłużonej kołnierkowej nakrętki, pokazanej w przekroju na rysunku 9-29c. W nakrętce tej jest wykonany dodatkowo gwint służący do wkręcenia śruby mocującej kołpak. Takie zamocowanie kołpaka jest proste i lekkie. Kołpak musi być środkowany na przedniej powierzchni rolki i do tego celu służy pierścień, dopasowany do wewnętrznej średnicy kołpaka. Jeśli rolka jest metalowa, musi mieć odpowiednie podtoczenie. Kołpak powinien być możliwie lekki, aby nie obciążał modelu i nie powodował drgań. Może to być cienkościenny kołpak aluminiowy, można go też wykonać z drewna i wreszcie można zastosować kołpak z plastiku, wykorzystując do tego celu, np. kieliszek do jajek. Uwaga: wszystkie obracające się części powinny być dokładnie wyważone, aby zapobiec wibracjom w czasie pracy.

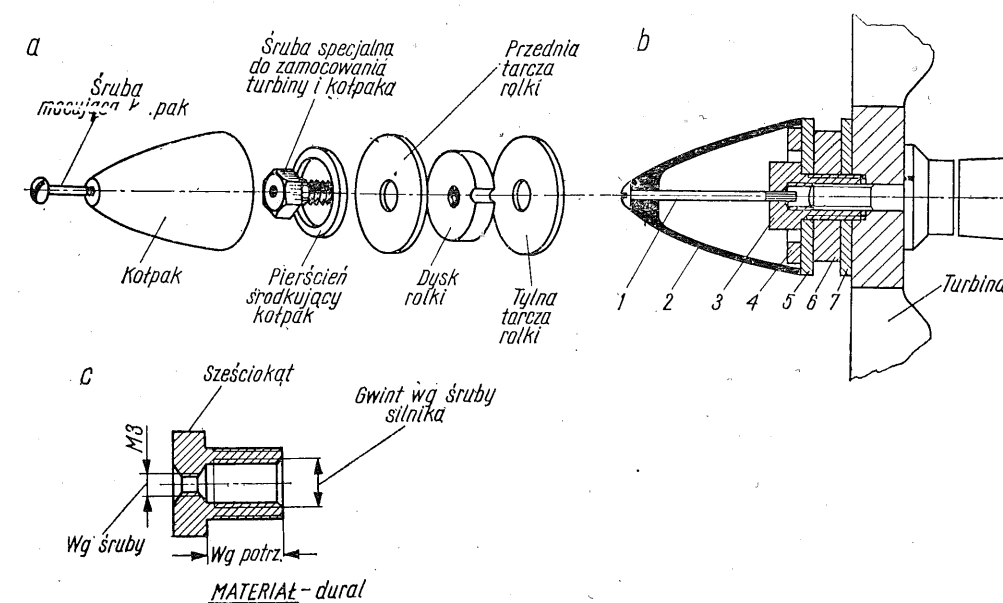
Konstrukcja i montaż zespołu napędowego. Silnik z wentylatorem razem z zamocowaniem, zasilaniem, oprofilowaniem i statorem umieszczony w dopasowanej obudowie-tunelu tworzy zwarty zespół napędowy.

Zapoznajmy się z opisem standardowego rozwiązania konstrukcyjnego, które może być z powodzeniem stosowane do wszystkich typów modeli tunelowych. W tym rozwiązaniu (rys. 9-30) zespół napędowy związany jest na stałe bądź z całym kadłubem-tunelem, bądź z częścią kadłuba w obszarze zespołu.

Perspektywiczny szkic rysunku 9-31 wyjaśnia poglądowo szczegóły konstrukcji poszczególnych elementów zespołu napędowego oraz ilustruje sposób montażu.

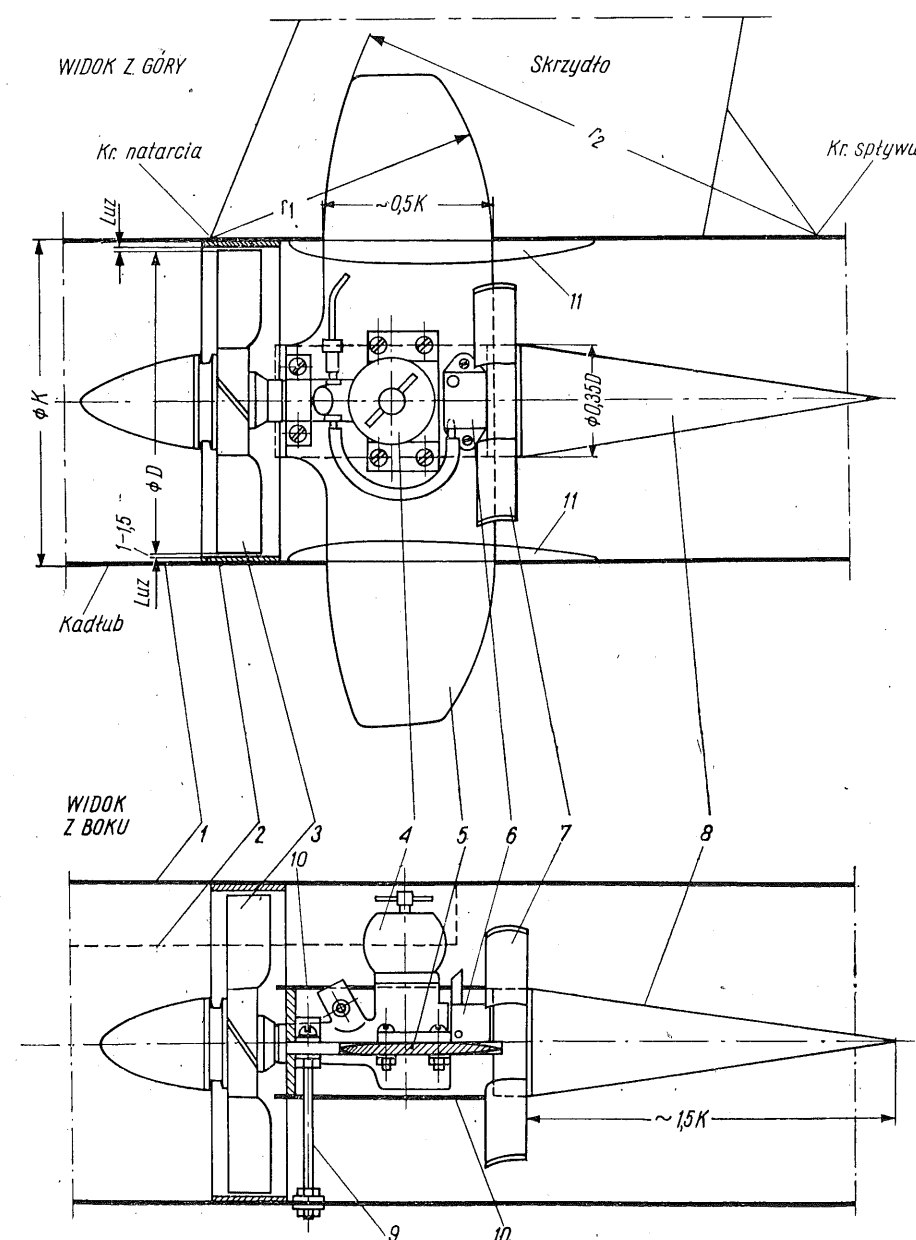
Zamocowanie silnika wykonane jest w formie płaskiej płytki sklejkowej, umieszczonej wewnątrz tunelu. Gdy model jest średniopłatem, można wówczas zamocowanie przedłużyć i wykorzystać wystające po obu stronach kadłuba „języki” jako tzw. „szufladkowe” zamocowanie skrzydła, co jest dużym uproszczeniem konstrukcji modelu.

Kształt „języków”, ustalamy tak, jak to jest pokazane na rysunku 9-30 u góry, przez zatoczenie łuków z punktów styku krawędzi spływu i natarcia skrzydła z kadłubem. Szerokość sklejkę na zamocowanie ustalamy na około 0,5 średnicy kadłuba. Grubość jest zależna od wielkości silnika. W sklejkę należy wykonać wycięcia oraz otwory umożliwiające założenie i zamocowanie silnika. Zamocowanie silnika musi być bardzo sztywne i nieodkształcalne — dlatego oprócz normalnego przykręcenia silnika za pośrednictwem konsolek,



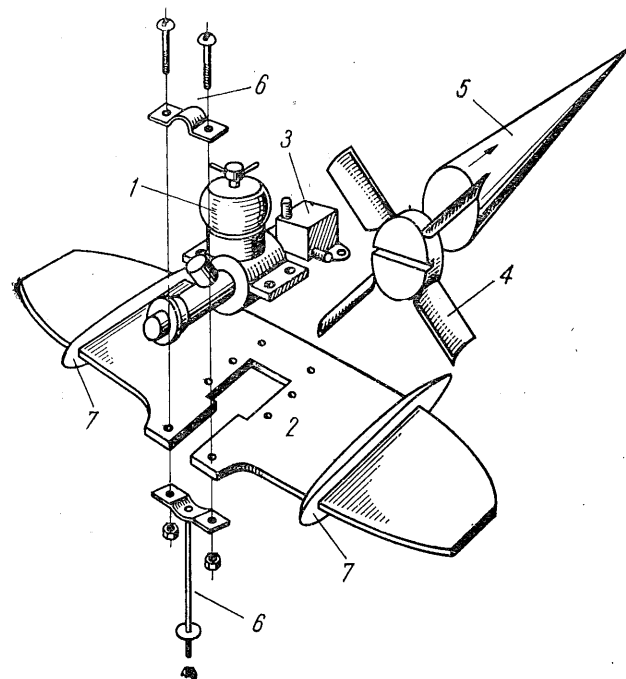
9-29. Konstrukcja, wykonanie oraz zamocowanie rolki rozruchowej i kołpaka wentylatora

1 — śruba mocująca kołpak, 2 — kołpak śmigła, 3 — nakrętka mocująca rolkę i śmigło, 4 — pierścień środkujący kołpak, 5, 6, 7 — elementy rolki rozruchowej



9-30. Konstrukcja tunelowego zespołu napędowego

1 — obudowa, 2 — pierścień wentylatora, 3 — wentylator, 4 — silnik, 5 — łożo silnika, 6 — zbiornik paliwa, 7 — łopatki kierujące, 8 — stożek spływowy, 9 — wspornik z obciążeniem, 10 — oprofilowanie silnika, 11 — wzmocnienie



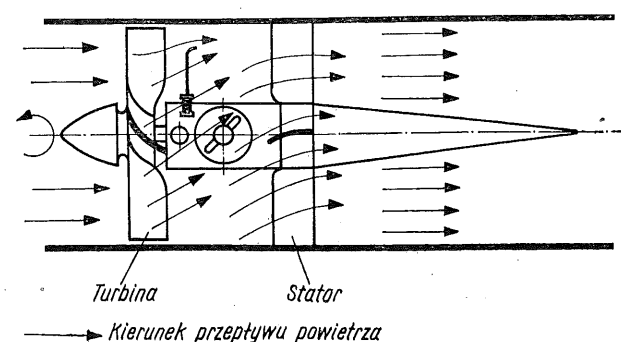
9-31. Montaż elementów zespołu napędowego

wzmocniamy je przez zastosowanie obejm blaszanych 6 mocujących koniec osłony wału do sklejk stanowiącej łożo silnikowe.

Aby zapobiec uginaniu się zamocowania w górę i w dół, do dolnej obejm zamocowany jest (przykręcony lub przylutowany) nagwintowany drut (np. szprycha rowerowa), który umożliwia połączenie zamocowania ze spodem kadłuba i wyregulowanie luzu wentylatora wewnątrz pierścienia tunelu. Łoże silnikowe przymocowujemy do ścianek kadłuba przez przyklejenie za pośrednictwem balsowych wzmocnień 7, które muszą być tak rozstawione, aby została zachowana odpowiednia szerokość kadłuba oraz właściwy luz turbiny również i w tej płaszczyźnie.

Zbiornik paliwa 3 lokujemy tuż za silnikiem, przymocowując go do sklejk 2 łoża silnikowego. Pojemność zbiornika powinna zapewniać powolne wytracanie prędkości obrotowej silnika z chwilą wyczerpania paliwa.

Łopatkier kierujące 4 tworzące „stator” umieszczają się tuż za łożem silnika. Są one rozmieszczone co 60° lub co 90° i osadzone w okrągłej piaście w kształcie krążka lub pierścienia. Szerokość łopatek statora może być identyczna jak łopatek wentylatora. Można wykonać je z blachy, cienkiej fibry i sklejk. Płastę wykonujemy z lekkiej balsy. Trzeba pamiętać, że łopatkier statora muszą być wygięte



9-32. Opływ statora

w kierunku przeciwnym do kierunku obrotów wentylatora — tak jak na rysunku 9-32.

Oprofilowanie zespołu napędowego ma duży wpływ na podniesienie wydajności zespołu. Należy zastosować oprofilowanie całkowite (rys. 9-30), składające się z kołpaka, oprofilowania silnika 8 i stożka spływowego 5, oraz częściowe.

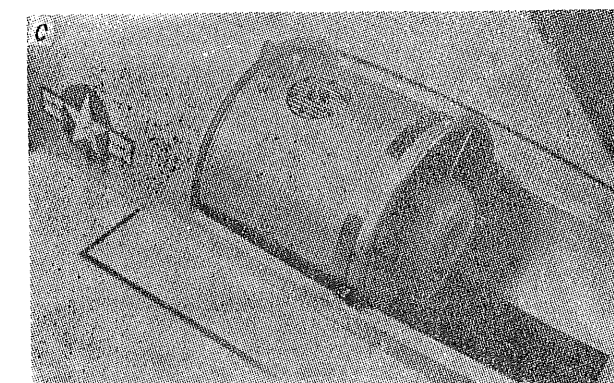
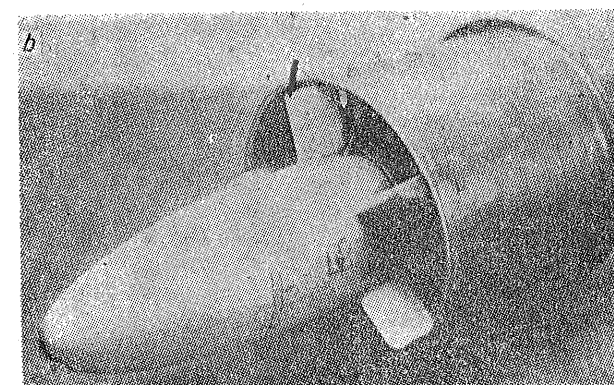
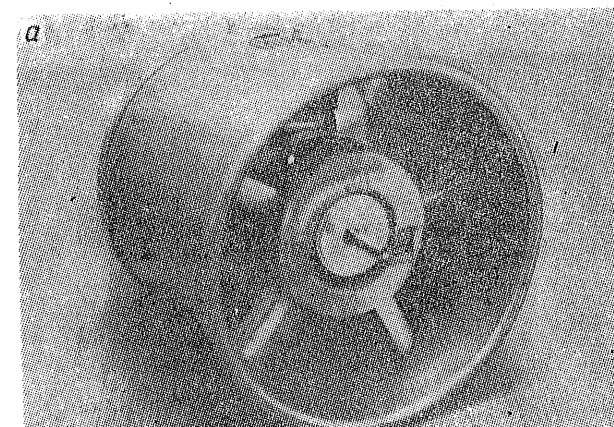
Zastosowanie stożka spływowego jest konieczne. Jego wykonanie jest proste — skleja się go z kawałka sztywnego papieru kreślarskiego (niezbyt grubego) i przykleja do płyty statora od tyłu.

Oprofilowanie silnika następcą już więcej trudności i musi być wykonane z dwóch części — dolnej 8d i górnej 8g. Część dolna może być przyklejona na stałe, zaś część górna musi być odcinana, aby umożliwić dostęp do zamocowania silnika i do zbiornika. Trzeba w niej wykonać otwory na cylinder, gaźnik itp. Część dolną można wykonać z papieru, część górną musi być sztywniejsza i wykonana z balsy lub cienkiej blachki aluminiowej.

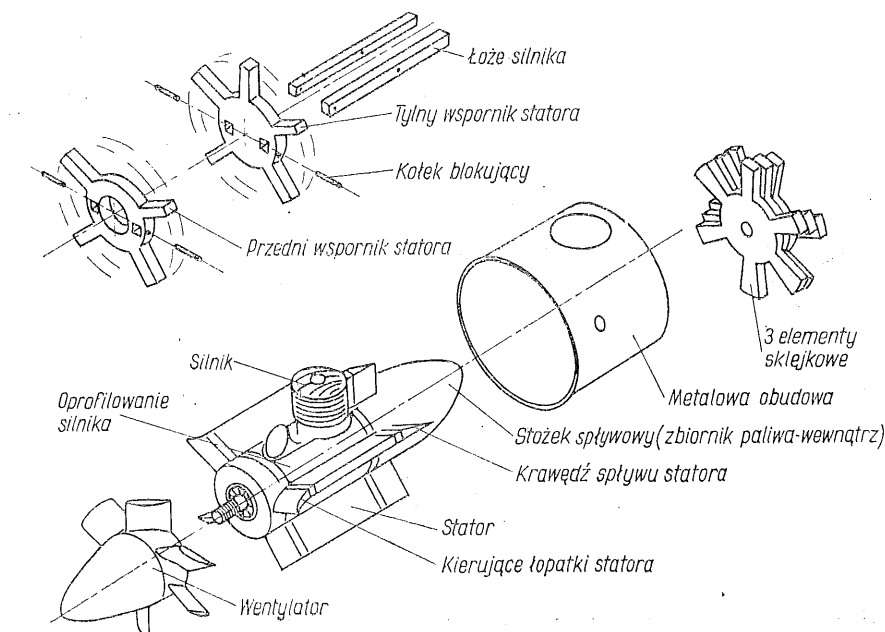
Zamocowanie — sprężynką do łoża silnikowego. Można oczywiście zrezygnować z osłaniania silnika, godząc się ze stratami. Odcinek łoża silnikowego znajdujący się wewnątrz tunelu także powinien być oprofilowany przez zaokrąglenie sklejk od przodu i zaostrenie jej z tyłu.

Opisane przed chwilą rozwiązanie napędu w modelu „tunelowym” odrzutowca jest niewątpliwie najprostsze pod względem konstrukcyjnym i zarazem najlżejsze. Polecać je więc należy przede wszystkim do modeli swobodnie latających. Rozwiązanie to ma jednak wady. Należą do nich przede wszystkim trudności w doborze najwłaściwszego zespołu napędowego do modelu. Zespół napędowy stanowi bowiem część kadłuba i w przypadku niepomyślnego wyniku próby ciągu upada założona koncepcja modelu i całą pracę nad projektem należy rozpoczynać od nowa. Poza tym tak pomyślany zespół napędowy jest niewymienny, co ma duże znaczenie przy awarii czy też przy dalszych ulepszeniach.

Wad tych nie wykazuje rozwiązanie, które przedstawia rysunek 9-33. Zespół napędowy rozwiązany jest tutaj jako oddzielny, integralny, całkowicie wymienny element. Koncepcja jest bardzo prosta — silnik z wentylatorem łącznie z całym dodatkowym wyposażeniem ma własną obudowę nie związaną z konstrukcją kadłuba. W rozwiązaniu tym zastosowano metalową obudowę, przy czym jest bardzo interesujące, że do tego celu posłużyła odpowiednio spreparowana puszka konserwowa. Zalety takiego zastosowania są niewątpliwie — puszka jest wykonana z cienkiej blachy, powinna być idealnie okrągła, a poza tym ma wywinięte mocne obrzeża, które doskonale wzmacniają konstrukcję. Szczegóły konstrukcyjne takiego zespołu napędowego pokazane są na rysunku 9-34. W rozwiązaniu tym zastosowano sześciopłatkowy całkowicie drewniany wentylator o proporcjach takich jak na rysunku 9-35. Wentylator ten dzięki temu, że jest całkowicie wykonany z drewna (sklejki), może być sprawniejszy niż rozwiązanie omawiane poprzednio — przede wszystkim dzięki możliwości nadania łopatom odpowiednich profili i prawidłowego skrócenia geometrycznego. Wentylator taki jest również całkowicie bezpieczny.

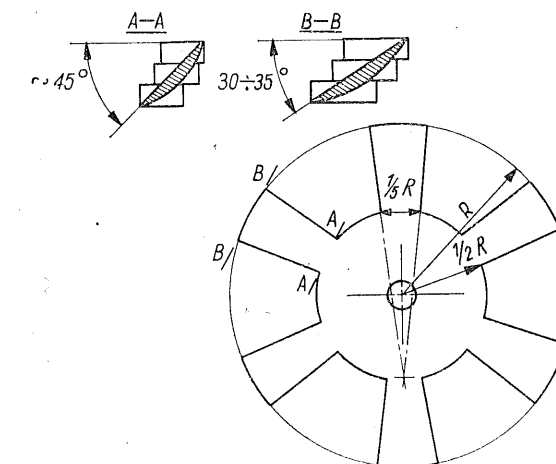


9-33. Integralny, wymienny zespół napędowy
a — widok od przodu po zdjęciu wentylatora, b — widok od tyłu, c — zabudowa w modelu



9-34. Konstrukcja i montaż integralnego zespołu napędowego

Tak wykonany zespół napędowy może być poddany dokładnemu sprawdzeniu. Po określeniu jego charakterystyki (ciągu) można przystąpić do zaprojektowania modelu.



9-35. Proporcje sześciopłatkowego drewnianego wentylatora

Konstrukcja i budowa kadłuba tunelowego. Kadłuby modeli tunelowych mają specjalną konstrukcję, odbiegającą od standardowych wzorców. Z reguły konstrukcja jest rozwiązana jako cienkościenne, sztywne skorupa, całkowicie pozbawiona wręg. Wnętrze skorupy to przewód (tunel) powietrza. W wyjątkowych przypadkach, kiedy mamy do czynienia z bardzo wielkim modelem, można zastosować konstrukcję wzmocnioną wręgami i wewnętrzny niezależny tunel. Taką konstrukcję wykonuje się znanymi i poprzednio opisanymi już metodami. Tunel wewnętrzny może być wykonany z cienkiego brystolu.

Przejdźmy jednak do omówienia zasadniczej cienkościennej skorupy, jako konstrukcji podstawowej. Wykonać ją można wieloma metodami: budując kadłuby z masy papierowej, drążąc je z pełnego kłodka lub stosując nowoczesne żywice i masy plastyczne. Najlepszy i stosunkowo najmocniejszy kadłub można wykonać z listewek balsowych, klejąc je metodą „klepkową” na uprzednio przygotowanym specjalnym szablonie. Pomocniczą konstrukcję trzeba będzie po sklejeniu usunąć i dla-

tego musimy wykonać skorupę w dwóch częściach. Linia podziału przebiega najczęściej w płaszczyźnie poziomej i w osi kadłuba.

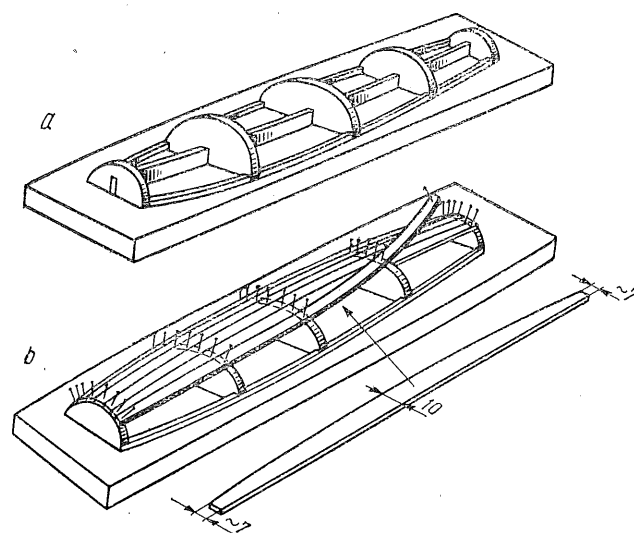
Przystępując do pracy przygotowujemy szablon dla górnej i dolnej części kadłuba. Jeżeli kadłub jest symetryczny i obie połowki kadłuba są jednakowe, wystarczy wykonanie tylko jednego szablonu.

Budowa szablonu (rys. 9-36) polega na wykonaniu szczałkowej konstrukcji, składającej się z kilku półwęg przymocowanych do równej deski, rozdzielonych ściśle według planu i połączonych podłużnicami. Oczywiście, wymiary węg muszą uwzględniać grubość powłoki. W celu zabezpieczenia przed przyklejeniem się skorupy do szablonu, węg oklejamy paskami papieru lub nasączamy je gorącą parafiną.

Teraz rozpoczynamy pokrywanie szablonu listewkami balsowymi o grubości około 2 mm. Szerokość listewek zależy od krzywizny kadłuba: im większe krzywizny, tym węższe muszą być listewki. Szablon pokrywamy zaczynając od wierzchu — symetrycznie na boki, przyklejając listewki (klejem kazeinowym lub Wikolem) jedna do drugiej i przymocowując je do szablonu szpilczkami, tak jak na rysunku.

Listewki powinny się nieco zwężać ku końcom. Linia kadłuba powinna przebiegać płynnie. Po całkowitym wyschnięciu pokrytego kadłuba oczyszczamy go dokładnie z zewnątrz papierem ściernym, nie zdejmując jednak jeszcze z szablonu, i nasączamy lakierem bezbarwnym w celu utwardzenia powierzchni. Trzeba się przedtem upewnić, czy lakier nie ma właściwości naprężających tak jak Cellon, gdyż grozi to powichrowaniem skorupy po wyjęciu z szablonu. Po wyschnięciu lakieru możemy zdjąć skorupę z szablonu.

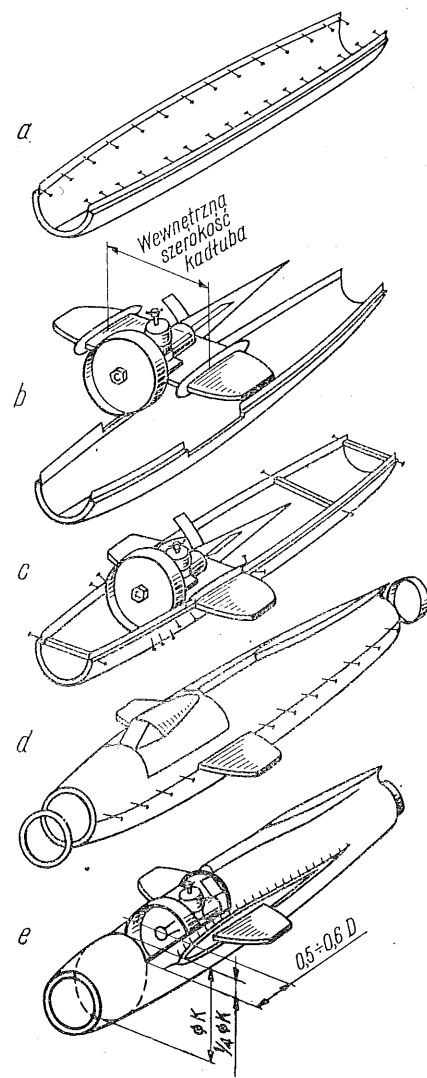
W podobny sposób wykonujemy drugą połowę kadłuba. Po zdjęciu z szablonu w dolnej połowie przyklejamy, w celu wzmocnienia spodu od wewnątrz, wąski pasek sklejkki 0,6÷0,8 mm. Obie połowki kadłuba należy następnie wewnątrz oczyścić i wykleić papierem japońskim. Następnie całe wnętrze kadłuba trzeba gruntownie wylakierować lakierem bezbarwnym, tak aby całkowicie uodpornić je przed przesiąkaniem paliwa i oleju.



9-36. Szablon (a) i montaż kadłuba klepkowego (b)

Można dodać do lakieru nieco szlifu aluminiowego lub pomalować wnętrze kadłuba na czarno. Wylakierowane połowki, gdy podeschną, umieszczamy znowu na szablonach i pozwalamy im całkowicie wyschnąć.

Montaż kadłuba przebiega tak, jak to jest pokazane na rysunku 9-37. Zaczynamy (rys. 9-37a) od przyklejenia do boków dolnej połowki kadłuba dwóch wąskich pasków sklejkki 0,6÷0,8 mm, które ułatwią nam potem sklejenie obu połówek. Jednocześnie przygotowujemy zespół napędowy oraz wykonujemy pierścień wentylatora, sklejkając go na okrągłym dysku z dwóch warstw cienkiej sklejkki 0,6 mm, tak aby średnica zewnętrzna pierścienia odpowiadała dokładnie wewnętrznej średnicy kadłuba w tym miejscu. Pierścień w ten sposób wykonany jest bardzo sztywny i nie odkształca się. Po sklejeniu i oczyszczeniu zakładamy pierścień wraz z dyskiem na wał silnika (rys. 9-37b). Dysk musi więc mieć otwór (najlepiej go zrobić wcześniej) idealnie położony w środku kręgu. W ten sposób założony pierścień jest całkowicie zabezpieczony przed odkształceniem. Teraz wykonujemy w odpowiednim miejscu dolnej połowki kadłuba wycięcie na łożo silnikowe i dopasowujemy zespół napędowy, tak aby oś wentylatora pokryła się z osią kadłuba, a łopatki statora przylegały do jego ścianek. Sprawdzamy również przyleganie górnej połowki kadłuba. W celu zachowania właściwej



9-37. Proces wykonania kadłuba „tunelowego”

szerokości kadłuba można wstawić w kilku miejscach rozpórki przymocowane szpilkami lub lekko przyklejone (rys. 9-37c), które będzie można łatwo usunąć po zmontowaniu kadłuba.

Po dokładnym dopasowaniu zaklejamy zespół napędowy w dolnej połowie, kadłuba, przyklejając pierścień na całej powierzchni styku, łożo silnikowe za pomocą balsowych wzmocnień oraz dolne łopatki statora — na styk do skorupy. Mocujemy i zakręcamy również śrubę podpierającą wał silnika od przodu.

Po wyschnięciu kleju możemy odkręcić i wyjąć dysk z pierścienia, a następnie dopasować i skleić górną połówkę kadłuba (rys. 9-37d). Przyklejamy również z przodu wzmocniający pierścień ze sklejkki, możemy przykleić osłonkę kabiny wytłoczoną z kawałka pleksi oraz wkleić pierścień (sklejkka, brystol) imitujący dyszę wylotową (jeśli potrzeba).

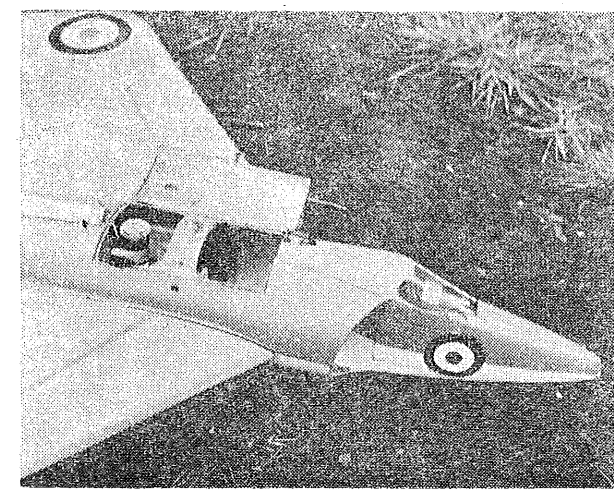
Następnie trzeba zaznaczyć i wyciąć otwór na klapę nadsilnikową. Wielkość klapy musi być tak dobrana, aby był dostęp do głowicy silnika i śrub mocujących oraz aby była możliwość założenia i wyjęcia wentylatora oraz silnika. Zasadnicze wymiary wycięcia podane są na rysunku 9-37e. Na rysunku tym widzimy już gotowy kadłub z odjętą klapą nadsilnikową, podstawą statecznika pionowego i przykładowym zębem skrzydła.

Teraz należy jeszcze zamocować klapę na zawiasach, wykonać do niej zatrzaski oraz wzmocnić nieco kadłub w miejscu wycięcia. Montaż kadłuba jest zakończony.

Po ostatecznym oczyszczeniu oklejamy kadłub z zewnątrz papierem japońskim i całość malujemy wykończająco (rys. 9-38).

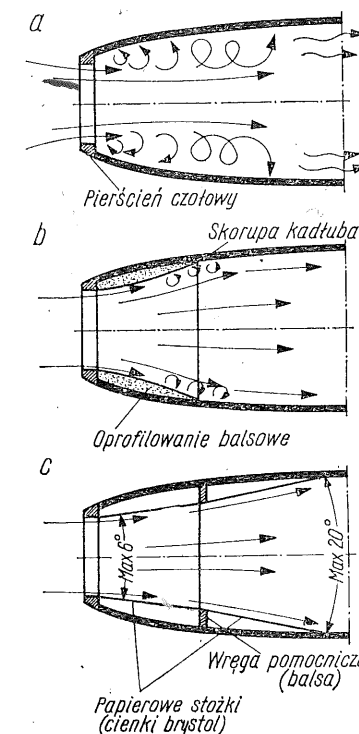
Jeszcze kilka uwag o ukształtowaniu wlotów i wylotów w modelach tunelowych.

Kadłuby niektórych samolotów mają znaczną krzywiznę w okolicach wlotu lub wylotu. W przypadku zastosowania cienkościennej skorupowej konstrukcji wygląda to w modelarskim wykonaniu tak, jak na rysunku 9-39a. Z punktu widzenia przepływu powietrza jest to kształt bardzo niekorzystny — powstają zawirowania i znaczne straty. Aby poprawić sprawność napędu i podwyższyć ciąg, można zastosować wewnątrz wlotu oprofilowanie z miękkiej balsy (rys. 9-39b), które w formie klepek można przykleić nawet po zmontowaniu



9-38. Przód modelu tunelowego; widoczne boczne wloty powietrza i klapa silnikowa (foto autora)

kadłuba. Jeszcze lepsze rozwiązanie podane jest na rysunku 9-39c. W tym przypadku straty są najmniejsze. Oprofilowanie to trzeba jednak zamontować przed sklejeniem połówek kadłuba. W razie potrzeby te same zabiegi można wykonać przy wylocie.



9-39. Ukształtowanie wlotu powietrza

Omówiliśmy typową konstrukcję kadłuba skorupowego. Można ją stosować do wszystkich małych i średnich modeli (z silnikami do 2,5 cm³). W dużych modelach oraz w modelach na uwięzi (z kółkiem nosowym) konieczne jest wzmocnienie przedniej części kadłuba. Można to uzyskać przez wykonanie dwuwarstwowej skorupy na odcinku od nosa do zamocowania silnika. Pamiętać tylko trzeba, aby przyklejać zewnętrzne klepki na łączenia klepek dolnych.

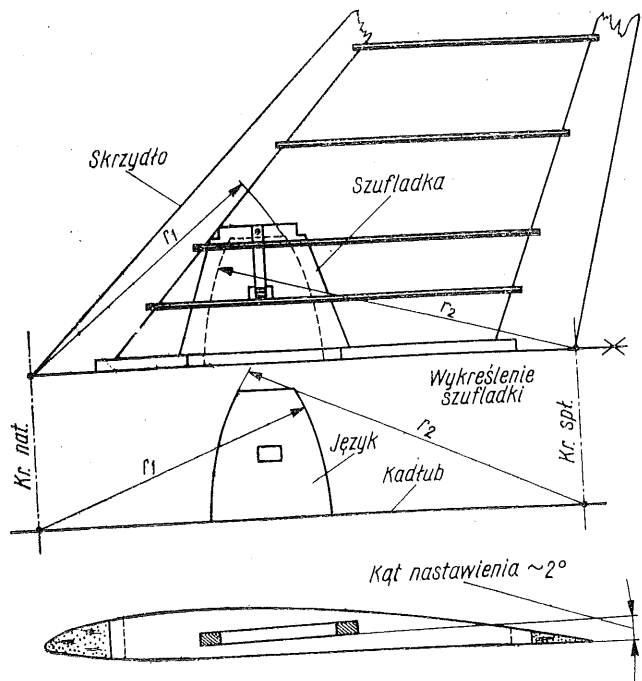
Opisane konstrukcje wykonuje się z balsy. W niektórych przypadkach, jeśli kształt samolotu na to pozwala, można zmniejszyć zużycie balsy przez zastosowanie skorup sklejkowych w kształcie rur. Jest to możliwe, jeżeli kadłub ma kształt zbliżony do prostego walca lub stożka.

Budowa oraz zamocowanie skrzydeł i stateczników. Konstrukcja skrzydeł i stateczników do modeli tunelowych niczym nie odbiega od standardowych wzorów. Trzeba się trzymać jedynie ogólnej zasady możliwie jak najłżejszego wykonania. Do stateczników stosuje się konstrukcje płytkowe lub takie jak w skrzydle.

Skrzydła i stateczniki pokrywa się papierem japońskim. Całkowicie skorupową konstrukcję stosujemy rzadko, chyba że dysponujemy bardzo cienkim i lekkim fornirem balsowym w dobrym gatunku.

Zamocowanie skrzydła lub statecznika możemy rozwiązać jako stałe — niedzielone lub odejmowane — dzielone.

Stałe zamocowanie stosujemy jedynie w małych modelach swobodnych oraz z reguły w modelach



9-40. Zamocowanie szuflady w skrzydle

na uwięzi (mniejszy ciężar). W większych modelach swobodnych, chcąc uchronić konstrukcję od zniszczenia w przypadku napotkania przez model przeszkody, stosujemy zamocowanie dzielone. Najpopularniejsze jest zamocowanie szufladkowe, o którym już wspominaliśmy. Na rysunku 9-40 są pokazane szczegóły konstrukcyjne zamocowania szuflady w skrzydle.

Obsługa modeli tunelowych

Modele tunelowe wymagają odmiennej obsługi niż modele normalne. Jest to wynikiem odmiennego napędu, odmiennego rozruchu i ukrycia całego zespołu napędowego wewnątrz kadłuba. Aby uniknąć trudności przy pierwszych lotach (a nawet uszkodzenia modelu), trzeba się dobrze zapoznać z zasadami obsługi nowego modelu. Omówię je pokrótce.

Pierwszą i zasadniczą sprawą jest opanowanie nowego sposobu rozruchu za pomocą sznurka. W tym celu trzeba koniecznie przerobić to praktycznie przed zamontowaniem — oczywiście przy zastosowaniu tej samej turbiny i tego samego paliwa, które użyjemy później do dalszej eksploatacji. Silnik trzeba precyzyjnie wyregulować na największą prędkość obrotową, notując położenie śruby kompresyjnej, liczbę obrotów igły gaźnika oraz skład paliwa użytego do próby. Jest to bardzo ważne, ponieważ regulacja silnika wewnątrz modelu może być bardzo kłopotliwa. Po zamontowaniu w modelu silnik powinien być tak samo ustawiony i regulacji nie należy zmieniać. Kolejność czynności podczas uruchamiania silnika w modelu tunelowym jest następująca:

- nawinąć sznurek startowy na rolkę rozruchową (3÷4 zwoje), tak aby węzeł na końcu sznurka znalazł się we wgłębieniu rolki (jeśli takie istnieje),
- napełnić zbiornik paliwa,
- odkręcić igłę gaźnika o określoną liczbę obrotów,

- zwolnić śrubę kompresyjną o około 1/4 obrotu,
- intensywnie pociągnąć za sznurek, przytrzymując drugą ręką cylinder silnika (silnik powinien zaskoczyć po 3 próbach);

jeżeli silnik nie daje się uruchomić należy:

- odkręcić nieco więcej igłę gaźnika i lekko zwiększyć „kompresję”, powtórzyć rozruch, a jeżeli to nie pomaga,
- dokręcić nieco igłę gaźnika i obracając wentylatorem ustawić tłok w położeniu zamykającym otwory wlotowe; wstrzyknąć kroplę paliwa poprzez otwór wylotowy na powierzchnię tłoka i powtórzyć rozruch — powinno pomóc radykalnie (uwaga: wstrzyknięcie paliwa przy otwartym otworze wylotowym grozi zalaniem silnika, co z kolei może spowodować złamanie wału lub korbowodu podczas energicznego rozruchu),
- po uruchomieniu silnika uregulować maksymalną prędkość obrotową,
- dopełnić zbiornik paliwa, zamknąć klapę nad-silnikową i natychmiast wypuścić model — przetrzymywanie modelu z zamkniętą klapą może spowodować przegrzanie silnika.

Należy zapewnić sobie „czyste przedpole startu”, przypadkowi przechodnie i ciekawscy widzowie powinni być uprzedzeni, że model lata z dużą prędkością i może komuś wyrządzić krzywdę, nie mówiąc o tym, że sam ulegnie uszkodzeniu, np. wskutek zderzenia z głową natrętnego widza.

Po lotach należy się przekonać, czy zbiornik jest pusty i usunąć wszelkie resztki paliwa z przewodu; resztki paliwa (oleju) mogą bowiem spowodować duże trudności w czasie następnego rozruchu.

- Poza tym należy przestrzegać następujących zasad:
- bezwzględnie utrzymywać model w czystości i po każdym locie sprawdzać, czy podczas lądowania przez otwór wlotowy nie dostały się do modelu trawa i inne zanieczyszczenia,
 - sprawdzić po każdym locie, czy śruby przymocowujące silnik nie odkręciły się; obluźwane śruby dokręcić — nieprzestrzeganie tego grozi pocięciem kadłuba przez wentylator,
 - sprawdzać wszystkie zamocowania, zwłaszcza ustawienie statecznika, a po dłuższym nieużywaniu modelu kontrolować lot ślizgowy,
 - nie wolno wypuszczać modelu, choćby z najdrobniejszymi uszkodzeniami lub dziurami w pokryciu.

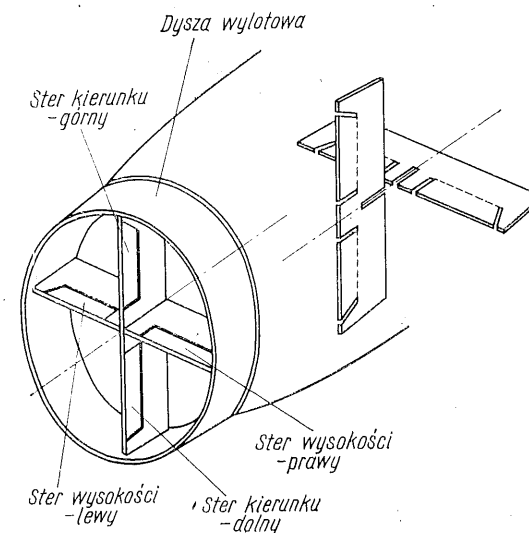
Przestrzeganie tych zasad to tajemnica powodzenia, nie lekceważmy ich!

Oblatywanie modeli tunelowych

Po zapoznaniu się ze specyfiką obsługi modeli o napędzie tunelowym, opanowaniu rozruchu silnika i jego regulacji można przystąpić do próbnych lotów.

Pamiętać trzeba, że modele tunelowe, zwłaszcza swobodnie latające, mają znacznie większe obciążenie od „śmigłowych” odrzutowców, co powoduje, że prędkość lotu ślizgowego jest znacznie większa. Podczas gdy „śmigłowy” odrzutowiec szybuje z prędkością około 6÷7 m/s, model tunelowy lata z prędkością 10÷12 m/s. Tak dużej prędkości nie będziemy mogli nadać modelowi biegnąc z nim w warunkach ciszy. Trzeba go będzie wyrzucić

z dość znaczną siłą lub oblatywać w czasie wiatru, który zmniejszy prędkość modelu względem ziemi. Wiatr powinien być niezbyt silny, równo wiejący, aby zaś uniknąć wpływu zawirowań, trzeba model oblatywać na otwartej przestrzeni. Poza tym regulację lotu ślizgowego i korektę stateczności przeprowadzamy według poznanych już zasad. Staramy się uzyskać szybki i prosty lot ślizgowy, bez tendencji do przeciągania (pompy), używając do tego celu statecznika wysokości i klapki na sterze kierunkowym (trymera).



9-41. Konstrukcja sterów tunelowych

Próby lotu silnikowego rozpoczynamy jak zwykle przy niewielkiej prędkości obrotowej, stopniowo ją zwiększając w miarę usuwania nieprawidłowości. Do regulacji lotu silnikowego będziemy używali przede wszystkim sterów „tunelowych”, które należy w tym celu umieścić w dyszy wylotowej modelu (rys. 9-41). Kształt krzyża jest najbardziej popularny — umożliwia on bowiem regulację we wszystkich kierunkach. Najprościej wykonać stery z materiału, który umożliwiłby ich odginanie, np. z cienkiej fibry, celulozoidu lub blaszki o grubości około 0,3 mm. Można również wykonać powierzchnie sterowe z balsy i osadzić je za pośrednictwem blaszek.

Działanie sterów tunelowych jest podobne do działania normalnych powierzchni sterowych z tym tylko, że działają one znacznie silniej, ponieważ pracują w strumieniu o dużej prędkości oraz dodatkowo pozwalają na przeciwdziałanie przechyłom. Działają one tylko w locie silnikowym.

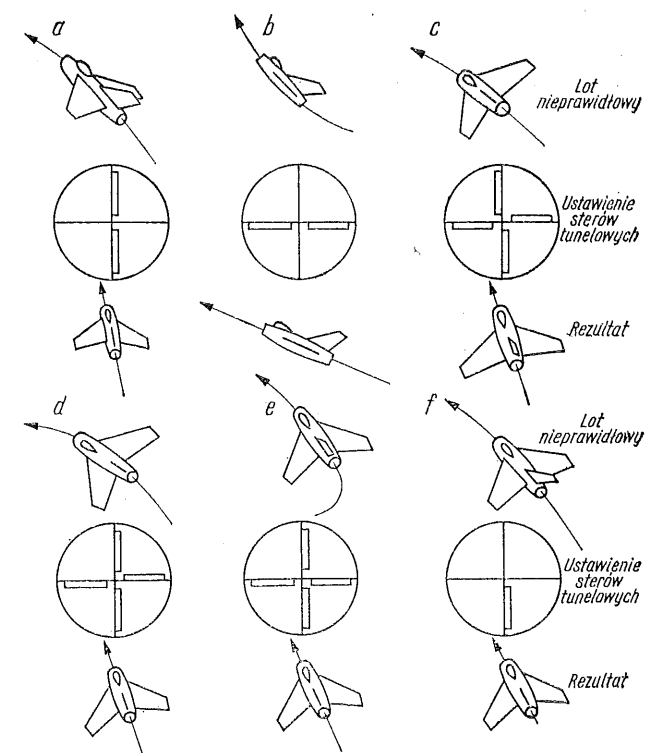
Są następujące możliwości użycia sterów tunelowych:

- jeżeli chcemy uzyskać zakręt w prawo lub przeciwdziałać lewemu zakrętowi, należy odgiąć obie łopatki steru kierunku w prawo (rys. 9-42a),
- jeżeli chcemy zmniejszyć nadmierne wznoszenie modelu, co wpływa ustatedniająco i zapobiega przeciągnięciu w locie silnikowym, należy odgiąć klapki steru wysokości do dołu (rys. 9-42b); jest to zabieg prawie zawsze konieczny w modelu tunelowym,

- w przypadku źle skomponowanej reakcji od silnika (wadliwie ustawione łopatki lub za mały stator), gdy model wykazuje tendencję do silnego przechyłu na lewe skrzydło (model z prawobieżnym silnikiem), należy wszystkie klapki na obu sterach wychylić w jednym kierunku — w tym przypadku w kierunku zgodnym z kierunkiem przechyłu, który chcemy poprawić (rys. 9-42c); możemy również wykorzystać kombinowane działanie sterów tunelowych dające w rezultacie:

- przechył i zakręt np. w prawo — ustawienie sterów jak na rysunku 9-42d; zabieg ten jest korzystny, jeżeli sposób omówiony (rys. 9-42a) nie likwiduje całkowicie przechyłu na lewe skrzydło,
- nurkowanie i zakręt — stosowane w przypadku korygowania zakrętu i zbyt ostrego wznoszenia (rys. 9-42e),
- można również wykorzystać tylko jedną klapkę sterową wywołując mniejsze działanie odpowiedniego steru zawsze połączone z lekką tendencją do przechyłu, np. mały zakręt i przechył w prawo (rys. 9-42f); wykorzystuje się ten zabieg do poprawy niewielkich niedokładności kierunku i przechyłu — przeciwnie ustawienie sterów w stosunku do opisanego daje skutek odwrotny.

Bardzo popularną własnością modeli tunelowych jest ich tendencja do zadzierania w locie silnikowym. Czasami zdarza się, że opisane przed chwilą stery tunelowe nie wystarczają do zlikwidowania tego niekorzystnego zjawiska. Radzimy sobie wówczas, wstawiając w dyszę wylotową dodatkowy chwyt, który przez wycięcie w spodzie kadłuba skierowuje część powietrza do dołu — powstaje siła obracająca model na nos i przeciwdziałająca zadzieraniu.



9-42. Regulacja modeli tunelowych w locie silnikowym