

POSTULOWANE POMIARY WIDMA OBCIĄŻEŃ EKSPLOATACYJNYCH SKRZYDEŁ SZYBOWCÓW W LOCIE

WIESŁAW STAFIEJ

PZL-Bielsko

1. Wstęp

Aby udowodnić zakładany przez wytwórcę rewers szybowca, konieczne jest przeprowadzenie próby zmęczeniowej. Próbie takiej poddaje się skrzydło, jako zespół reprezentatywny dla całej struktury płatowca, albowiem tutaj tworzywo poddane jest największemu wyciężeniu.

Dla jak najwierniejszego odtworzenia w próbie rzeczywistych obciążeń płatowca, konieczna jest znajomość widma obciążeń eksploatacyjnych, towarzyszących różnym stanom lotu i sytuacjom naziemnym.

Wiarygodną charakterystykę widma można uzyskać jedynie drogą pomiarów, albowiem rozważania teoretyczne obarczone są zawsze błędami wynikającymi z założeń upraszczających, przyjmowanych przy analitycznym przybliżaniu zjawisk rzeczywistych.

2. Odtwarzanie widma obciążeń

W trakcie próby zmęczeniowej widmo obciążeń może być realizowane poprzez symulację odtwarzającą:

- obciążenia pojawiające się lot po locie,
- obciążenia zbiorcze ze wszystkich lotów, zgrupowane w charakterystyczne bloki.

Sposób pierwszy symuluje wiernie „historię życia” szybowca, jednakże obciążenia następujące po sobie są bardzo zróżnicowane. Sposób drugi pozwala na usystematyzowanie obciążeń co do ich wielkości i charakteru. Odtwarzanie obciążeń lot po locie może być praktyczne tam, gdzie charakter obciążeń nie jest skomplikowany i wykazuje dużą powtarzalność. Dotyczy to np. samolotów latających na ustalonych trasach i w ustalonych warunkach meteorologicznych.

Szybowiec z natury wykorzystuje termikę, co stwarza ogromne zróżnicowanie warunków, a w ślad za tym zróżnicowanie obciążeń. Dlatego w realizowanych dotychczas próbach zmęczeniowych skrzydeł szybowców stosowano programy oparte na widmie ujętym w postaci blokowej.

Pomiary mogą być oczywiście dokonywane w określonym odcinku czasu a wyniki należy ekstrapolować na całą przewidywaną żywotność szybowca. Reprezentatywny czas pomiaru w przypadku widma o urozmaiconym przebiegu musi być więc odpowiednio długi, co dodatkowo komplikuje pomiary w szybownictwie.

3. Postać bloku obciążeń

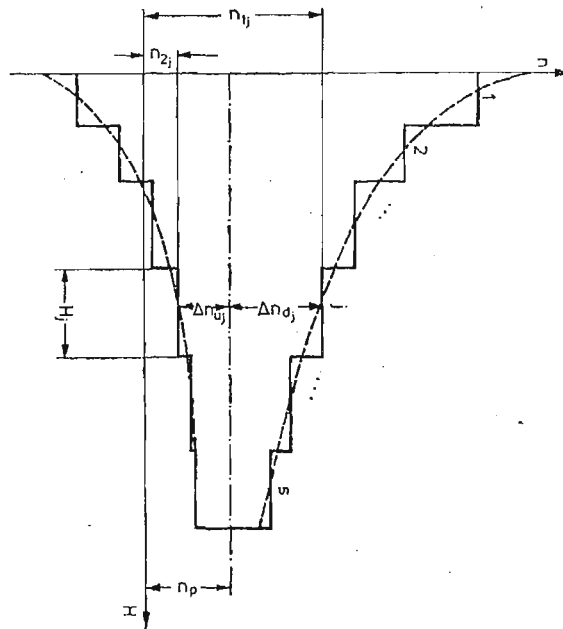
Blok obciążeń zmęczeniowych jest graficznym przedstawieniem funkcji:

$$n = f(H)$$

gdzie: n — wielkość współczynnika obciążenia szybowca,

H — krotność powtórzeń obciążenia o poziomie n

Wielkościami charakteryzującymi blok obciążeń (rys. 1) są:



Rys. 1. Postać bloku obciążeń.

- współczynnik obciążenia podstawowego n_p , podający poziom względem którego zachodzą zmiany obciążenia określone przyrostami współczynnika obciążenia Δn_d (dodatnim) oraz Δn_u (ujemnym).
- ilość stopni s jakimi widmo ciągle aproksymowano układem dyskretnym
- wielkość współczynników obciążenia dla j stopnia obciążenia:
 - $n_{1j} = n_p + \Delta n_{d_j}$ (górną wartość obciążenia) oraz
 - $n_{2j} = n_p + \Delta n_{u_j}$ (dolną wartość obciążenia),
- ilość zmian obciążenia od wartości n_{1j} do wartości n_{2j} , przypadających na j stopień obciążenia:

$$H_j = \sum_{i=1}^m H_i, \text{ gdzie } m \text{ określa ilość cykli } H_i \text{ dla } j \text{ stopnia.}$$

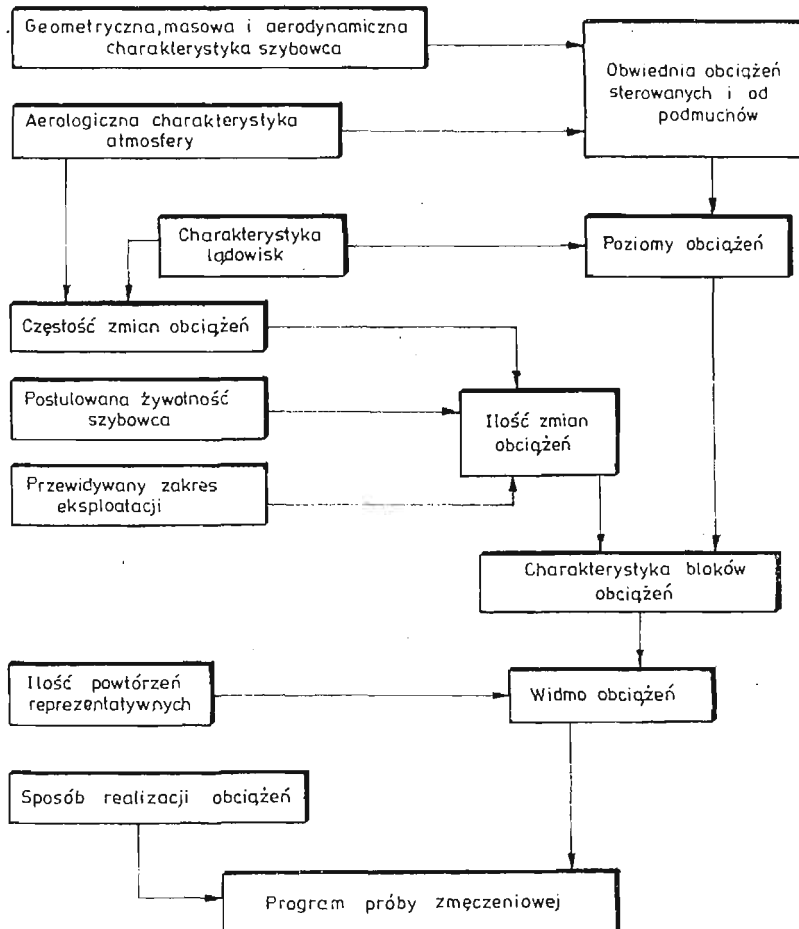
-- ilość zmian obciążeń w bloku:

$$H_s = \sum_{j=1}^s H_j$$

Jeżeli $\Delta n_{d_j} + \Delta n_{d_j} = 0$ blok posiada budowę symetryczną względem obciążenia podstawowego n_p . Może być usytuowany względem osi poziomej układu $n = f(H)$: centralnie, gdy $n_p = 0$ lub przesunięty do góry $n_p > 0$ względnie do dołu $n_p < 0$. Obciążenie podstawowe może przybierać formę: $n_p = \text{const}$ lub $n_p = f(\varphi)$, gdzie φ może być wyrażone w postaci czasu lub odcinka drogi.

4. Przebieg programowania widma

Algorytm programowania widma przedstawiono na rys. 2 Geometryczna, masowa aerodynamiczna charakterystyka szybowca oraz aerologiczna charakterystyka atmosfery



Rys. 2. Algorytm programowania widma.

i stan nawierzchni lotnisk lub lądowisk, w powiązaniu ze zdolnościami amortyzacyjnymi podwozia, pozwalają na ustalenie wielkości obciążeń płatowca. Przyjęty model eksploatacji szybowca pozwala na przybliżone ustalenie powtarzalności tych obciążeń, co w sumie tworzy widmo obciążeń eksploatacyjnych. Rzeczywiste widmo posiada przebieg ciągły, który w próbie zmęczeniowej, ze względów wykonawczych, symuluje się widmem dyskretnym, podzielonym na poszczególne stopnie obciążeń, podzielonym na charakterystyczne bloki, symulujące określone stany eksploatacji.

Ponieważ względy ekonomiczne pozwalają na przeprowadzenie próby na jednym tylko egzemplarzu skrzydła, fakt istniejącego w rzeczywistości rozrzutu wyników zastępuje się zwiększoną ilością zmian obciążeń, ujętych w programie próby, zwaną „ilością zmian reprezentatywnych”.

W programie próby należy również podać sposób realizacji obciążeń oraz wymaganą rejestrację parametrów próby.

Elementami widma, wymagającymi rejestracji w trakcie prób szybowca, celem dostarczenia danych do wyznaczania programu próby zmęczeniowej, są: reakcje płatowca na aerologiczne stany zmian w atmosferze oraz reakcje płatowca na ukształtowanie terenu lądowiska wzgl. lotniska.

5. Elementy pomiarów

Ponieważ pomiary mają służyć programowaniu próby zmęczeniowej skrzydła, należy rejestrować wielkość i powtarzalność obciążeń w tym zespole płatowca.

Przejawem wielkości obciążenia płata jest wartość naprężeń pojawiających się w elementach struktury skrzydła, zatem pomiar sprowadza się do rejestracji funkcji $\sigma = f(H)$, gdzie σ jest naprężeniem pojawiającym się w pomiarowym punkcie skrzydła.

Przejście od zależności $\sigma = f(H)$ do zależności $n = f(H)$ opiera się na odpowiednim wyskalowaniu urządzenia pomiarowego np. podczas realizacji prób statycznych.

Istotnym zagadnieniem jest ustalenie punktu pomiarowego na skrzydle (względnie kilku punktów), które winno opierać się na analizie pracy konkretnej struktury skrzydła i musi być ustalone indywidualnie dla każdego typu szybowca.

6. Charakterystyczne bloki obciążeń

Przyjmując metodę zbiorczej realizacji obciążeń, systematyzuje się je w charakterystyczne bloki, odtwarzające typowe stany eksploatacji (rys. 3). Każdy blok charakteryzuje się indywidualnym przebiegiem widma i sposób pomiarów wymaga oddzielnego omówienia dla każdego z bloków. Pomiary muszą być prowadzone dla różnych konfiguracji masowych (stany załadowania, lot z balastem wodnym lub bez) i aerodynamicznych (zmienność geometrii profilu lub powierzchni nośnej).

Pewne bloki, jako proste, dadzą się zaprogramować bez konieczności pomiarów widma (np. blok „ziemia-powietrze-ziemia”), zostały więc tutaj pominięte.

6.1. Blok lotów holowanych za samolotem. Pomiary w locie holowanym winny dotyczyć: różnych prędkości holowania, zróżnicowanych warunków meteorologicznych, określonych

L.p.	BLOK	SYTUACJA
1	Ziemia-powietrze-ziemia	w powietrzu
2	Lotów holowanych za samolotem	
3	Wzlotów przy pomocy wyciągarki	
4	Krążenia w kominach termicznych	
5	Przeskoków międzykominowych	
6	Lotów szybkich	
7	Lotów szkolnych	
8	Obciążeń sterowanych (akrobacji)	
9	Lotów treningowych i kontrolnych	
10	Rozbiegu i dobiegu	na ziemi
11	Kołowania	
12	Transportu drogowego	

Rys. 3. Charakterystyczne bloki obciążeń.

wysokości operacyjnych oraz różnych parametrów krążenia zespołu w kominach termicznych, przy typowych konfiguracjach masowych i aerodynamicznych.

6.2. Blok wzlotów przy pomocy wyciągarki. Pomiar w tym bloku powinny oddawać przebieg widma podczas wzlotu w warunkach atmosfery spokojnej i burzliwej, ustalić współczynnik obciążenia podstawowego jako funkcję drogi wzlotu, oraz wpływ różnych wysokości wzlotu. Zakres prób winien obejmować straty z zaczepu przedniego i dolnego przy zastosowaniu wyciągarek o różnej mocy.

6.3. Blok krążenia w kominach termicznych. Krążenie w kominach termicznych wymaga rejestracji obciążeń w prądach wznoszących o różnej intensywności w pełnym przewidywanym zakresie prędkości krążenia z uwzględnieniem zróżnicowanych kształtów komina w różnych porach roku.

6.4. Blok przeskoków międzykominowych. Pomiar powinien dostarczyć danych odnośnie obciążeń wywołanych podmuchami w przelotach typu: termicznego, falowego i „delfinowania”. Winien być przeprowadzony dla różnych tras przelotowych (trójkąty, docelepowroty itp.) oraz dla symulacji typowych treningowych lotów przylotniskowych.

6.5. Blok lotów szybkich. Różnica pomiarów w porównaniu z blokiem przeskoków międzykominowych dotyczy przedziału stosowanych prędkości lotu (doloty końcowe na linię mety, loty rekordowe, pokonywanie trasy pod szlakami chmur Cu), oraz innego udziału czasu lotu w ogólnym nalocie.

6.6. Blok lotów szkolnych. Rejestracja winna obejmować typowe loty szkolne wykonywane przy pomocy holu za samolotem i wyciągarki. Na szybowcach dwumiejscowych w obsa-

dzie: uczeń + instruktor i uczeń solo, a na jednomiejscowych uczeń solo, w różnej fazie zaawansowania nauki pilotażu

6.7. Blok obciążeń sterowanych. Obciążenia sterowane w trakcie wykonywania figur akrobacji należy mierzyć na szybowcach akrobacyjnych i szybowcach innych klas dopuszczonych do wykonywania określonych figur akrobacji. Pomiary winny dotyczyć pilotażu uczniów (początkujących w akrobacji) i pilotów doświadczonych, na sprzęcie dwumiejscowym i jednomiejscowym. Parametry figur należy rejestrować przy ich oddzielnym wykonywaniu oraz we wiązkach akrobacji.

6.8. Blok lotów treningowych i kontrolnych. Obciążenia w tym bloku są zlepkiem obciążeń określonych w blokach poprzednich, zależnie od postawionego pilotowi zadania treningowego. Celem rejestracji jest stwierdzenie jaki procent obciążeń z bloków poprzednich pojawia się w lotach treningowych.

6.9. Blok rozbiegu, dobiegu i kołowania. Blok ujmuje stany obciążeń szybowca na ziemi. Celem pomiarów jest ustalenie: funkcji wielkości obciążenia podstawowego względem drogi (rozbiegu, dobiegu i kołowania) oraz wielkości przyrostów obciążeń nakładających się na stan podstawowy wywoływanych reakcją płatowca na nierówności podłoża, przy zmieniającej się wartości siły nośnej płata (rozbieg i dobieg). Przy rejestracji należy wziąć pod uwagę: różne stany nawierzchni lotnisk i lądowisk, porę roku, wprawę pilota (uczeń, pilot doświadczony) oraz różne rodzaje startów (hol za samolotem, wyciągarka).

Kołowanie obejmuje stany obciążeń wywoływane przetaczaniem szybowca po lotnisku (ręcznie, przy pomocy traktora, samochodu). Należy dokonać pomiaru przy różnych, dopuszczalnych prędkościach kołowania.

6.10. Blok transportu kołowego. W przypadku mocowania szybowca na wózku transportowym za nośne elementy struktury, co wprowadza siły skupione w konstrukcję, należy również dokonać pomiaru obciążeń tych elementów z uwzględnieniem prędkości holowania wózka, własności trakcyjnych samochodów i różnych stanów nawierzchni dróg oraz przeciętne odległości lądowań przygodnych od lotniska.

7. Ograniczenia pomiarów

Możliwości przeprowadzenia pełnych pomiarów są ograniczone. Te elementy prób, które mogą być włączone do programu prób fabrycznych i państwowych mogą być wykonane w sposób względnie pełny. Jednakże obciążenia typowo eksploatacyjne wymagają organizacji współpracy z użytkownikiem sprzętu, a ta może napotykać na różne obiektywne i subiektywne trudności, wiążące się, głównie z obsługą aparatury pomiarowej, jako elementu nietypowego w praktyce aeroklubowej.

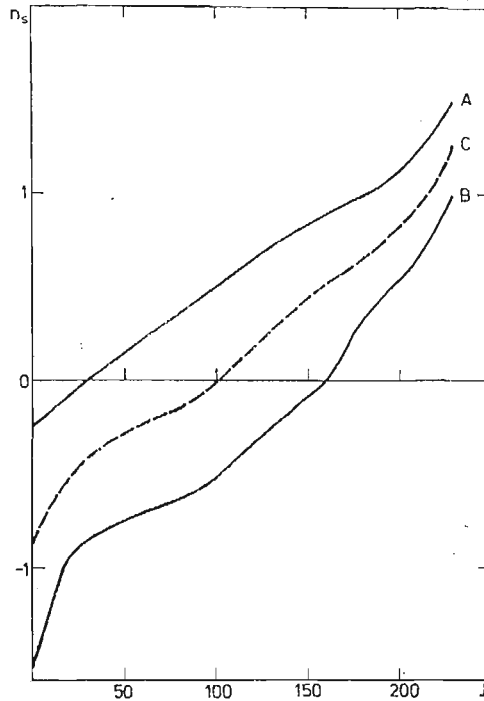
Należy również liczyć się z dużym rozrzutem wyników, tak więc uzyskany materiał musi być na tyle bogaty, aby pozwolił na statystyczną obróbkę wyników.

8. Wyniki pomiarów dotychczasowych

Sposób technicznej realizacji pomiarów oraz przetwarzania danych pomiarowych omówiony jest w artykule P. Lamersa: „Pomiar i rejestracja widma obciążeń skrzydeł metodą tensometryczną”, stanowiącym integralną całość z niniejszym opracowaniem.

Pomiary widma dla szybowca SZD-51-1 „Junior”, zapoczątkowane w „PZL-Bielsko” pozwalają na podanie przykładowo niektórych wyników uzyskanych w zrealizowanym dotychczas etapie założonego programu badań.

Przebieg widma obciążeń skrzydła podczas startu (rozbieg po nawierzchni lotniska trawiastego przedstawiono na rys. 4, gdzie:



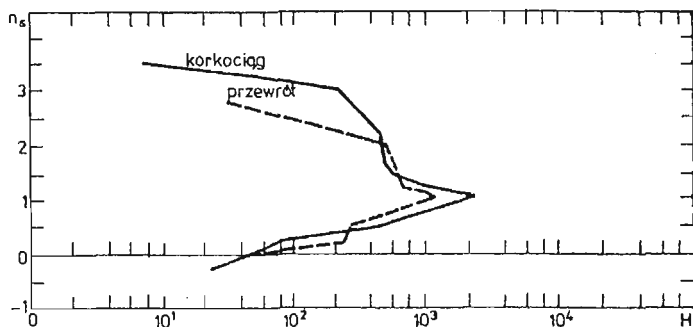
Rys. 4. Widmo obciążeń skrzydła (obwiednia) dla jednego startu.

n_s — współczynnik obciążenia skrzydła, przy czym wartość $n_s = 1$ odpowiada obciążeniu skrzydła równemu sile nośnej w locie ustalonym (ciężar szybowca w locie) pomniejszonej o ciężar własny skrzydła.

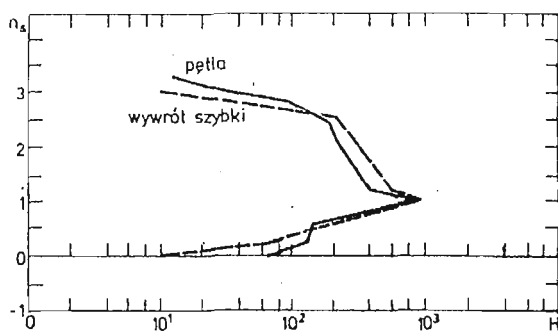
J — ilość zmian obciążeń podczas rozbiegu od momentu ruszenia szybowca (obciążenie postojowe równe ciężarowi skrzydła, skierowane do dołu, a więc ujemne) do momentu oderwania się szybowca od ziemi (obciążenie skierowane do góry, a więc dodatnie).

Linia A określa obwiednię maksimów obciążeń, linia B obwiednię minimów. Linia C reprezentuje wartość obciążenia podstawowego względem którego zachodzi oscylacja do linii A i B . Obciążenie podstawowe podczas rozbiegu zmienia się od postojowego do obciążenia w locie. Wartość $n_s > 1$, ponieważ nośność skrzydła równoważy także siłę na utrzymanie konieczną dla zachowania równowagi podłużnej szybowca.

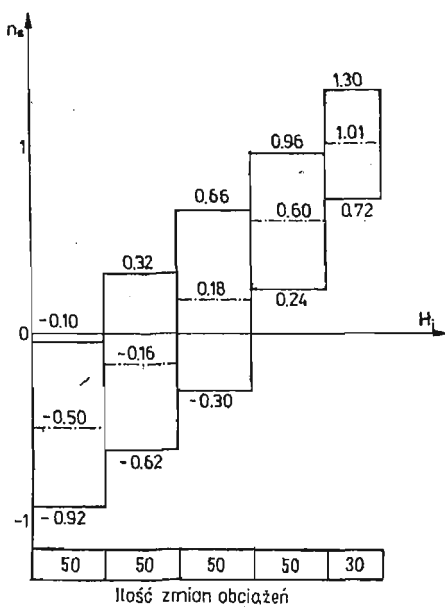
Przebiegi widma obciążeń skrzydła dla kilku figur akrobacji podstawowej pokazano na rys. 5 i rys. 6. Wartość współczynnika obciążenia skrzydła n_s , podano w funkcji kumulatywnej ilości zmian obciążeń H . W przypadku akrobacji poziomem podstawowym jest wielkość $n_s = 1$, t.j. stan lotu ustalonego z którego szybowiec wprowadzany jest każdorazowo w omawianą figurę akrobacji.



Rys. 5. Widmo obciążeń skrzydła podczas korkociągów i przewrótów (dla 1 godziny akrobacji)



Rys. 6. Widmo obciążeń skrzydła podczas pętli i wywrótów szybkich (dla 1 godziny akrobacji)



Rys. 7. Symulacja stopniowego widma obciążeń dla jednego startu

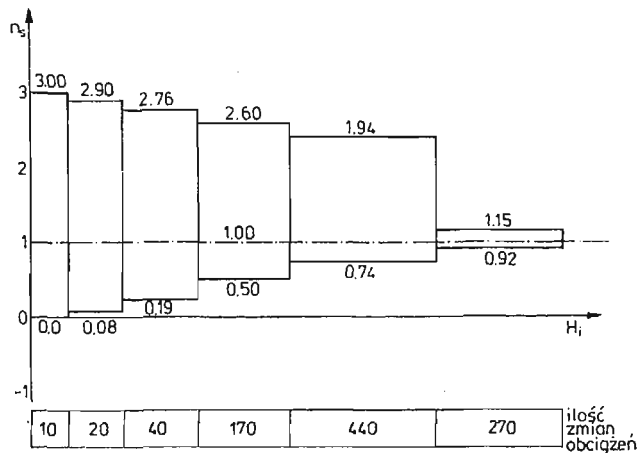
9. Sposób wykorzystania wyników

Uzyskane przebiegi widm dla poszczególnych stanów modelu eksploatacji szybowca pozwalają na opracowanie programu naziemnych prób zmęczeniowych. Z uwagi na zastosowany sposób laboratoryjnej realizacji prób widmo ciągłe wymaga dyskretyzacji na poszczególne poziomy obciążeń zebrane w charakterystyczne bloki.

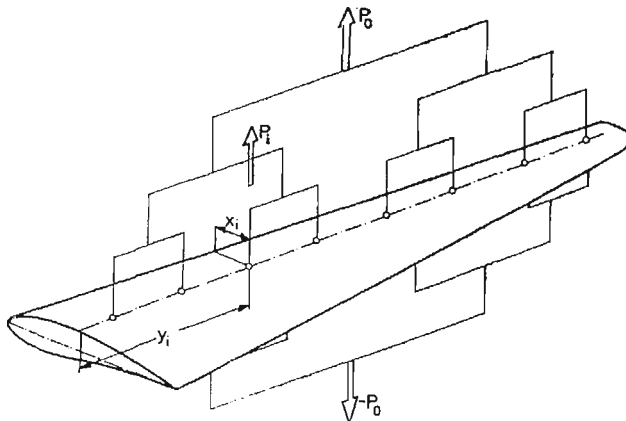
Blok symulujący rozbieg szybowca (stanowiący zarazem program odnośnej próby zmęczeniowej) dla 1 startu przedstawiono na rys. 7. Wielkość współczynnika obciążenia skrzydła n_s przedstawiono w funkcji ilości zmian obciążeń J w trakcie jednego startu.

Blok symulujący obciążenia w trakcie wywrotu szybkiego pokazano na rys. 8 jako wartość n_s w funkcji H_i (ilości zmian obciążeń dla poszczególnych stopni bloku).

Na stoisku badawczym skrzydło obciążane jest układem sił przybliżającym stan rzeczywisty (rys. 9). Siła P_0 skierowana do góry odpowiada obciążeniu dla $n_s = 1$, a skierowana



Rys. 8. Symulacja stopniowego widma obciążeń podczas wywrotu szybkiego (dla 1 godziny akrobacji)



Rys. 9. Układ obciążający skrzydło na stoisku badawczym. Ilość punktów przyłożenia sił do skrzydła zależy od przyjętej wierności symulacji obciążenia

do dołu obciążeniu dla $n_s = -1$. Stany obciążeń określone wartościami n_s wymagają przyłożenia odpowiedniej krotności siły P_0 wg zależności: $P = n_s \cdot P_0$. Odpowiednie usytuowanie na skrzydle sił składowych układu: P_i względem zamocowania skrzydła (y_i) i względem krawędzi natarcia (x_i) pozwala na symulację zginania i skręcania.

10. Wnioski

Celem uzyskania wiarygodnych danych dla programowania prób zmęczeniowych skrzydeł szybowców konieczne jest prowadzenie systematycznych pomiarów widma obciążeń. Optymalną drogą byłyby równoległe badania prowadzone przez wytwórcę sprzętu i użytkowników.

Konieczne jest zebranie szerokiego materiału statystycznego w pełnym zakresie obciążeń eksploatacyjnych, jako danych do przetwarzania informacji, prowadzącego do budowy programu próby zmęczeniowej i wzbogacenia wiedzy na ten temat. Podjęcie badań jest sprawą pilną, albowiem wynik próby zmęczeniowej jest podstawą do określania rezerwu szybowców.

Zapoczątkowane w „PZL-Bielsko” pomiary na szybowcu SZD-51-1 „Junior” pozwoliły na uzyskanie wstępnych wyników, umożliwiając korektę założeń teoretycznych przyjmowanych przy programowaniu dotychczas prowadzonych prób. Realizacja pełnego programu badań pozwoli na wierniejszą symulację stanu rzeczywistego pojawiającego się w eksploatacji i przygotowanie dalszych publikacji na ten temat.

Literatura

1. F. FRANZMAYER, *Statische und dynamische Festigkeituntersuchungen an einer Tragfläche des Segelflugzeuges „Cirrus”*, Aerokurier Nr 10/1969
2. F. FRANZMAYER, *Ein Kunststoff-Flugzeug in der Zerreißprobe*, Aerokurier Nr 5/1970
3. V. KAHANEK, *Fatigue life analysis of the L-13 (Blanik) glider*, Zprava VZLU Z-31/1977
4. C. KENSCHKE, *Betriebsbelastungsversuch an einem Segelflugzeugflügel in CFK Bauweise*, OSTIV Publication XVII
5. H. KOSSIRA, W. REINKE, *Ermittlung von Lastkollektiven für die Bemessung von Segelflugzeugen*, OSTIV Publication XVII
6. C. PATCHING, C. ESSON, *Fatigue life considerations for gliders operated in Australia*, Gliding Federation of Australia, Technical Committee.
7. W. STAFIEJ, *Program próby zmęczeniowej skrzydła szybowca SZD-37 „Jantar”*, Technika Lotnicza i Astronautyczna Nr 7/1973
8. W. STAFIEJ, *Obciążenia szybowca wyczynowego podczas toczenia się po lotnisku*, Technika Lotnicza i Astronautyczna Nr 8/1981
9. W. STAFIEJ, *Model eksploatacji szybowca*, Technika Lotnicza i Astronautyczna Nr 11/1983
10. W. STAFIEJ, *Wing loading spectrum of glider in aerobatics measured on training two-seater SZD-9 bis „Bocian”*, Aero Revue Nr 8/1985.

Резюме

ТРЕБОВАННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК КРЫЛЬЕВ ПЛАНЕРОВ В ПОЛЁТЕ

Представлен вопрос программирования наземных усталостных испытаний крыльев в качестве основы для определения ресурса.

Рассмотрена структура спектра нагрузок и его характеристические параметры.

Величина эксплуатационных нагрузок планера и частота их появления зависят от эксплуатационной модели выраженной с помощью характеристических блоков нагрузок.

Для запрограммирования спектра нагрузок необходимым является знание вида отдельных блоков в связи с чем обсужден необходимый диапазон измерений в полёте.

Приведены полученные до настоящего времени результаты испытаний в этой области, а также способ их использования для постройки программы усталостного испытания реализованного методом применяемым в настоящее время.

S u m m a r y

FLIGHT MEASUREMENTS OF LOADS SPECTRUM FOR A GLIDER WING IN EXPLOITATION

The problem of a programme on ground fatigue tests, as a base for glider life estimation has been presented. The structure of loading spectrum and it's parameters has also been described. The load level and frequency depending on the glider operation patterns are represented by the particular loading blocks.

To prepare the ground test programm the structure of particular loading blocks should be defined on the base of flight measurements of load spectrum.

The results obtained recently have been presented and the way of application to the fatigue test program for the performed tests have been discussed.

Praca wpłynęła do Redakcji dnia 19 marca 1986 roku.