

METODY PROGNOZOWANIA ROZWOJU OBIEKTU NA ETAPIE PROJEKTOWANIA STATKÓW POWIETRZNYCH

Stanisław Kachel, Adam Kozakiewicz

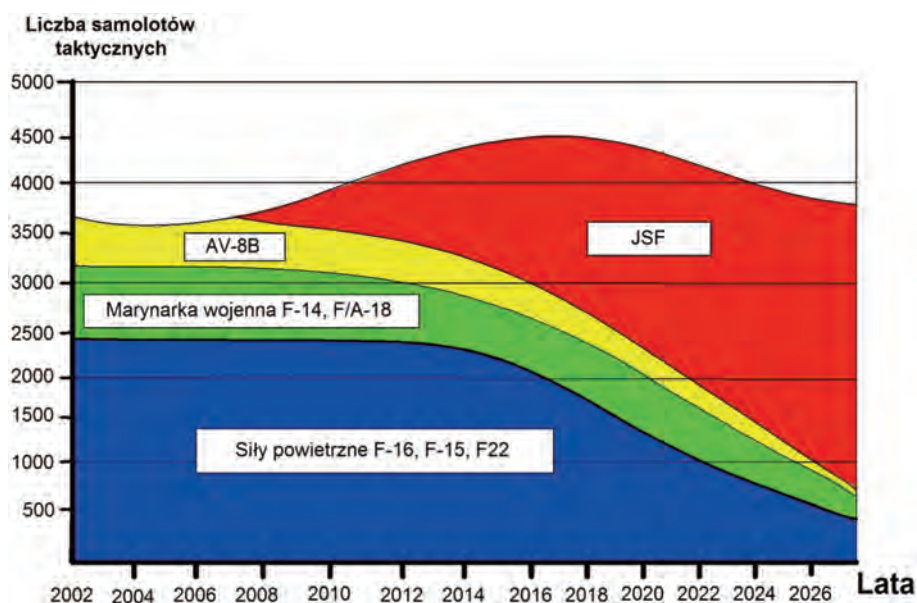
Wojskowa Akademia Techniczna

Streszczenie

W artykule zaprezentowano podstawy metodyki prognozowania rozwoju, zmiany kluczowych parametrów eksploatowanych samolotów i zespołów napędowych, których techniczny i technologiczny rozwój wskazuje nowe drogi w procesie projektowania i optymalizacji konstrukcji lotniczych. Przedstawiono metodyczne podejście do tworzenia dynamicznych szeregów rozwoju obiektów, ich głównych parametrów niosących niezbędne informacje eliminujące błędne kierunki w procesie projektowania i modernizacji struktur lotniczych.

1. WSTĘP

Projektowanie bryły samolotu powinno być poparte analizami wspomagającymi proces podjęcia decyzji zmierzającej do uzyskania odpowiednich walorów konstrukcji lotniczej: układu aerodynamicznego (mającego wpływ na układ konstrukcyjno-wytrzymałościowy), osiąarów, zespołu napędowego, ogólnie pojętych systemów pokładowych oraz zdolności wykonania zaplanowanych misji.



Rys. 1. Plan zmian ilości samolotów wielozadaniowych w siłach zbrojnych USA [6], gdzie: JSF – Joint Strike Fighter, AV-8B – amerykańsko-anielski samolot klasy V/STOL

Podstawowymi konstrukcjami w klasie szeroko rozumianych obiektów latających są: samolot, śmigłowiec, rakieta klasy „ziemia – ziemia”, itp. Głównym zadaniem bojowych statków powietrznych i systemów wspomagających wykonanie zaplanowanej misji statku powietrznego (SP) związanej z przechwyceniem celów powietrznych, wejście w strefę rozmieszczenia celów naziemnych, nawodnych i zniszczenie wykrytych celów. Przykładem zmian poszczególnych typów SP w siłach zbrojnych Stanów Zjednoczonych przedstawiono na rysunku 1.

W przypadku cywilnych statków powietrznych przeznaczonych do transportu ludzi bądź towarów głównymi celami dla planowanych misji samolotu jest liczba możliwych miejsc dla pasażerów na pokładzie (lub ładunku) oraz zasięg samolotu bez konieczności międzylądowań przy ograniczonym zużyciu paliwa.

Uwzględniając takie kryterium podziału SP, umożliwi ono zastosowanie mechanizmu prognozowania rozwoju techniki lotniczej a tym samym wskazuje drogę ułatwiającą projektowanie bryły samolotu poprzez porównanie istniejących i eksploatowanych konstrukcji, a w szczególności ich walorów określających jakość konstrukcji.

Procedura prognozowania obejmuje takie etapy jak [1]:

1. Wybór typu prognozowanego obiektu. Obiektem może być, na przykład, samolot myśliwski, samolot myśliwsko-bombowy, samolot transportowy, śmigłowiec, zespół napędowy, itp.
2. Sformułowanie przeznaczenia obiektu, zadań, warunków i metod zastosowania obiektu.
3. Opracowanie zestawień (parametrów, wskaźników jakości) konkurujących wariantów (alternatyw) obiektów, zdolnych wykonać sformułowane zadania.
4. Wybór z zestawu konkurencyjnych wariantów obiektów najlepszego obiektu – tzn. rozwiązania optymalnego.

Proces rozwoju SP specjalnego przeznaczenia (samolot myśliwski, samolot szturmowy, samolot transportowy, samolot wielozadaniowy, bezzałogowy statek powietrzny, śmigłowiec, zespół napędowy, itp.) charakteryzuje się możliwością zamiany starego produkowanego seryjnie SP na nowy (poprzez modernizację eksploatowanego SP, który staje się obiektem perspektywnym np. C-130 Hercules). Proces rozwoju SP i ich systemów charakteryzuje się utworzeniem i wdrożeniem nowych SP, zwiększeniem ich ilości poprzez produkcję seryjną i obserwację eksploatacyjną. Proces ten umożliwia na etapie projektu koncepcyjnego wyeliminowanie popełnienia błędu doboru podstawowych parametrów, które w kolejnych etapach są traktowane jako parametry bazowe.

Ewolucja SP i ich systemów jest sterowana poprzez proces doboru optymalnego kształtu SP wykorzystując mechanizm prognozowania rozwoju SP i ich systemów. Wykorzystanie mechanizmu prognozowania rozwoju konstrukcji lotniczych w procesie wielokryterialnego projektowania bryły samolotu lub silnika wiąże się z opracowaniem systemu analizy rozwoju podstawowych parametrów mających decydujący wpływ na powstanie i ewentualny rozwój konstrukcji opierając się na analizie wykorzystującej mechanizm prognozowania kierunku rozwoju SP wynikający z potrzeb zaplanowanych misji dla statków powietrznych [2].

Proces opracowania rankingowych zestawień parametrów jest realizowany w oparciu o matematyczne modele prognozowania rozwoju SP.

Metoda prognozowania rozwoju obiektów latających z wykorzystaniem statystycznych modeli wspomaga proces porównywania i oceny parametrów geometrycznych pod względem perspektywy zastosowania istniejącego SP w procesie modernizacji struktury, dla współczesnych wymagań nowoczesnej misji SP lub pozwala wybrać takie parametry, które zastosowane w fazach wstępnych procesu projektowania samolotu spowodują uzyskanie bryły samolotu nie gorszej niż bryły samolotów uwzględnione w procesie analizy. Przytoczona metoda jest również wykorzystywana w prognozowaniu zespołów napędowych. Proces ten w połączeniu z mechanizmem wielokryterialnego procesu projektowania prowadzi do eliminacji czasochłonnego poszukiwania bazowych wartości parametrów na etapie projektu koncepcyjno-wstępnego.

2. ETAPY MATEMATYCZNEGO PROGNOZOWANIA

2.1. Uwagi wstępne

Prognozowanie rozwoju obiektu sprowadza się do sformułowania koncepcji (kształtu) perspektywicznego obiektu jakiego oczekujemy aby spełnił nasze wymagania w zadanym przedziale perspektywicznego rozwoju.

Proces prognozowania powinien być realizowany z uwzględnieniem pewnych zasad:

1. Harmonijne połączenie docelowego i poszukiwawczego prognozowania.
2. Wybór racjonalnego przedziału czasowego (przedziałów czasowych) prognozowania.
3. Dokładna analiza informacji z retrospektywnego dynamicznego szeregu rozwoju o doświadczeniu w procesie konstruowania, wytwarzania i eksploatacji tego samego typu obiektów.
4. Wykorzystanie zasad analizy systemowej, spośród wielu zasad analizy systemowej obiektu w procesie tworzenia samolotu na podstawie analizy prognozowania, należy uwzględnić następujące zasady:

W zależności od wyglądu i struktury „obektu” można prognozować o rozwoju nauki i techniki, zastosowaniu i kierunku rozwoju technologii, ekonomicznych i ekologicznych procesów oraz innych zjawisk.

Wśród wielu rodzajów prognoz specjalne miejsce zajmują naukowo techniczne prognozy o podłożu matematycznego modelowania, które wymaga:

- określenie prognozowania metodami modeli matematycznych;
- przy prognozowaniu są wykorzystywane wyniki tych kierunków naukowych, które związane są z rozwojem i tworzeniem nowych urządzeń technicznych.

Naukowo techniczne prognozowanie i prognozy w oparciu o modele matematyczne można podzielić na dwa rodzaje:

- prognozowanie zachowania obiektu,
- prognozowanie rozwoju obiektu.

Przykładem *prognozy zachowania obiektu* jest: lot samolotu w płaszczyźnie poziomej ze stałą prędkością V , kątem przechyłu γ z ustalonym współczynnikiem obciążenia $n_y = 1/\cos\gamma$ to dla takich warunków torem lotu będzie manewr o promieniu, którego wartość wyznacza się z zależności (1) [5].

$$r = \frac{V^2}{\sqrt{n_y^2 - 1}} \quad (1)$$

Przykładem *twórczej prognozy obiektu*: jeżeli masa całkowitego ładunku (ładunku użytecznego – m_{tu}) projektowanego samolotu będzie równa np. $m_{tu} = 4000$ kg, przy współczynniku całkowitej masy $\xi_{tu} = 0,2$; to dla takich parametrów masę startową samolotu możemy określić według następującej formuły (2) [1]:

$$m_0 = \frac{m_{tu}}{\xi_{tu}} = 20000 \text{ kg} \quad (2)$$

Sposoby podejścia do prognozowania można podzielić na trzy grupy:

- poszukiwawcza, podejście bazuje na pytaniu: „Gdzie można dostać się z danego miejsca rozwoju?”;
- docelowa, podejście bazuje na pytaniu: „Gdzie trzeba dostać się z danego miejsca rozwoju?”;
- mieszane podejście, stanowiące kombinację dwóch poprzednich: „gdzie można i trzeba się dostać”.

Poszukiwawcze podejście opiera się na tym, że proces rozwoju nauki i techniki jest procesem samo kształtującym się, który podporządkowuje się wewnętrznym mechanizmom i jest realizowany według algorytmu: *co uzyskamy, jeżeli przewidzimy rozwój, jakie narzędzia są wymagane w przewidywanym rozwoju techniki w procesie realizowania przyjętego wariantu na bazie przewidywanych osiągnięć naukowo-technicznych.*

Przykład zastosowania algorytmu może być następujący:

- jakim perspektywnym samolotem będzie współczesny średniej klasy samolot myśliwski, jeżeli jego płatowiec będzie zbudowany z kompozytów.

Docelowe podejście bazuje na tym, że rozwój nauki i techniki kształtuje się potrzebą (celem) i jest realizowane według algorytmu: *co należy wykonać dla osiągnięcia celu.*

Przykład zastosowania algorytmu może być następujący:

- jaki współczesny samolot myśliwski może (powinien) być perspektywnym, żeby uzyskać przewagę i zapewnić zwycięstwo nad samolotem typu F-35A (rys. 2).



Rys. 2. Samolot F-35A podczas lotu testowego (fot. Lockheed Martin)

Samolot F-35A powstał w ramach programu JSF jako nowej generacji samolot myśliwsko uderzeniowy w ramach zmiany doktryny obronnej USA i zadań które ma realizować ten rodzaj lotnictwa. Ów samolot ma zastąpić takie samoloty jak F-16, A-10 i F-22. W ramach programu JSF ma powstać rodzina samolotów (tabela 1) do wspomagania różnych rodzajów wojsk. O ile samolot F-35A zaliczany jest do kategorii CTOL (Conventional Take-Off Landing) – klasyczny sposób lądowania, to F-35B ma być samolotem klasy STOVL (Short Take-Off Landing) – skrócony start i lądowanie i ma zastąpić samolot AV-8B. Ostatni z rodziny F-35C jest to samolot typu CATOBAR (Catapult Assisted Take Off But Arrested Recovery) przeznaczony do operowania z lotniska i ma zastąpić F/A-18E/F.

Tabela 1. Rodzina samolotów JSF

Parametr	F-35A CTOL	F-35B STOVL	F-35C CATOBAR
Długość	15,7 m	15,6 m	15,7 m
Rozpiętość	10,7 m	10,7 m	13,1 m
Powierzchnia	42,7 m ²	42,7 m ²	62,1 m ²
Masa własna	13 300 kg	14 500 kg	15 800 kg
Masa paliwa	8 390 kg	6 030 kg	8 890 kg
Max masa startowa	31 800 kg	27 000 kg	31 800 kg
Zasięg	2 220 km	1 670 km	2 520 km
Promień działania	1 090 km	833 km	1 110 km

W praktyce podstawowym podejściem prognozowania jest podejście mieszane – prowadzące do rozwiązania docelowego prognozowania.

Przy prognozowaniu rozwoju techniki duże znaczenie ma głębokość (krok, przedział czasowy) prognozowania, przez którą rozumie się odcinek czasu, dla którego w każdym punkcie (albo tylko w punkcie $t = T$) trzeba prognozować stan obiektu.

W zależności od wielkości kroku prognozowania t można wyróżnić następujące prognozy:

- krótkoterminową – do 5 lat,
- średnioterminową – od 6 do 15 lat,
- długoterminową – od 16 do 30 lat,
- perspektywiczną – ponad 30 lat.

Ustalenie kroku prognozowania t jest procesem złożonym i zależnym od potrzeby przewidywania związanego z gradientem rozwoju techniki i może być ustalony dyrektywnie (narzucony) albo ustalony przez ekspertów z danej dziedziny dla prognozowanego obszaru. W praktyce dobrym zwyczajem jest przyjęcie zmiennej wartości t jako funkcji wpływu różnych czynników na prognozę. W dowolnym przypadku przedział powinien być większy lub równy od czasu, niezbędnego na opracowanie obiektu $T \geq t_{opr}$.

Czas t_{opr} może być wyznaczony na podstawie wzoru (3) formuły ekspertów [3, 12]:

$$t_{opr} = \frac{4t_{opr}^{pes} + 2t_{opr}^{opt}}{6}, \quad (3)$$

gdzie: t_{opr}^{pes} , t_{opr}^{opt} – czas opracowania obiektu zdaniem ekspertów pesymistów i optymistów.

Wyznaczenie czasu t_{opr} w zależności od podstawowych parametrów obiektu wiąże się z określeniem stopnia złożoności obiektu w funkcji podsystemów.

Prognozowany obiekt techniki zazwyczaj jest złożonym systemem, który składa się z M (podsystemów) $_j$, podsystem składa się z N (elementów) $_j$:

$$obekt = \sum_{j=1}^M (podsystem)_j, \quad (4)$$

$$(podsystem)_j = \sum_{v=1}^{N_j} (element)_{jv}. \quad (5)$$

Cechy obiektu, podsystemów, elementów opisuje się wektorem parametrów:

$$obekt : \Pi = \{\Pi_i\}, i = 1, 2, \dots, I; \quad (6)$$

$$(podsystem)_j : \Pi_j^{pod} = \{\Pi_j^{pod} \varepsilon\}, \varepsilon = 1, 2, \dots, E; \quad (7)$$

$$(element)_j : \Pi_j^{ele} = \{\Pi_{jv}^{ele} \alpha\}, \alpha = 1, 2, \dots, A; \quad (8)$$

gdzie: I , E , A – ilość parametrów obiektu, j -go podsystemu i jv elementu.

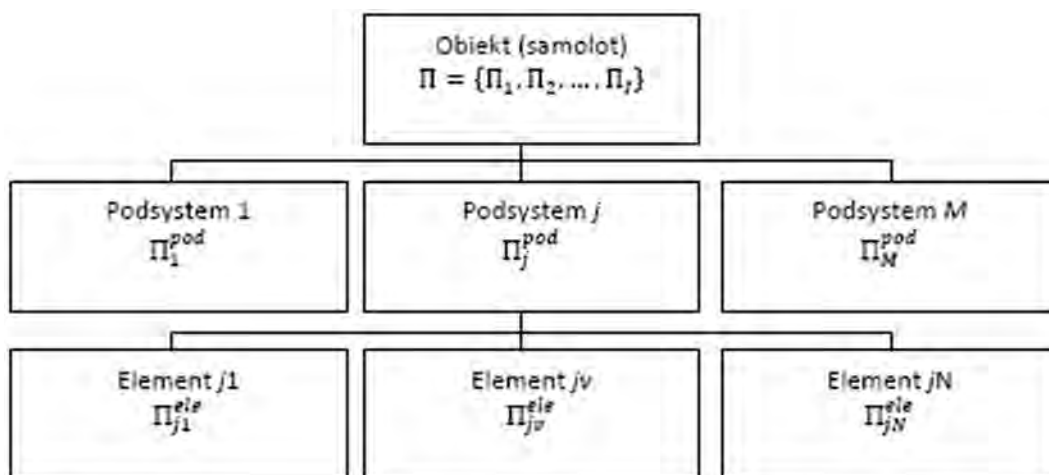
Obiekt techniki (tu samolot) i jego parametry mają zazwyczaj hierarchiczną strukturę (rys. 3).

Interpretując formuły (6) do (8) przykładami parametrów mogą być następujące wektory:

- parametry samolotu myśliwskiego (obiekt) $\Pi = \{\Pi = n_y - \text{współczynnik obciążenia w zakręcenie ustalonym na wysokości } H = 5\text{km z prędkością } Ma = 0,85; \Pi_2 = V_y^* - \text{maksymalna prędkość}$

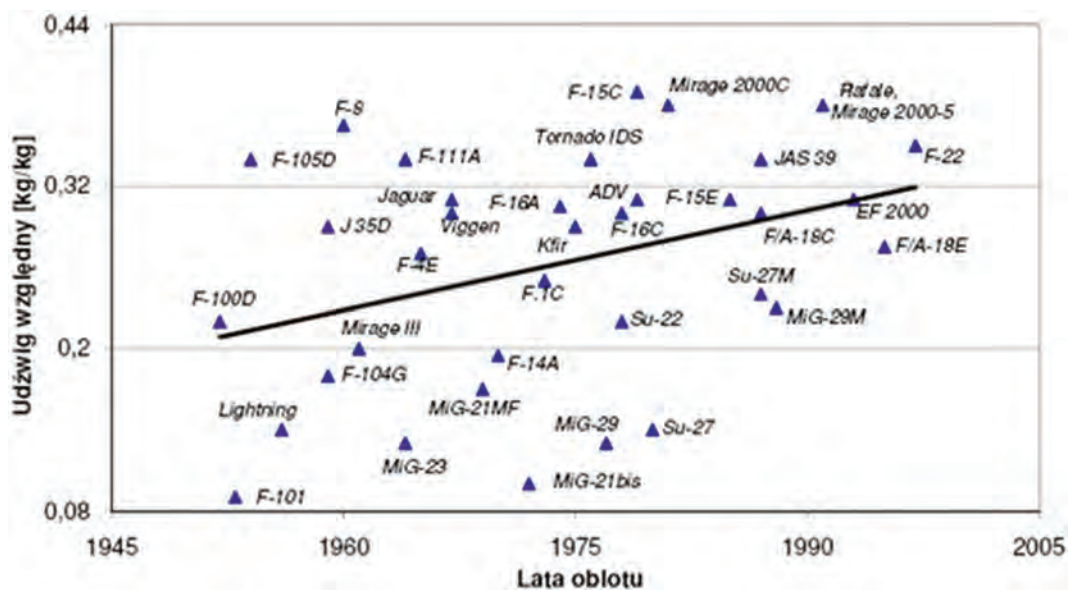
przy przelocie nad ziemią; $\Pi_3 = D$ – maksymalna odległość wykrycia celu powietrznego przez pokładową stację radiolokacyjną, itd.);

- parametry skrzydła (podsystem) $_j$ $\Pi^{sk} = \{\Pi_1^{sk} = S$ – pole powierzchni skrzydła; $\Pi_2^{sk} = \lambda$ – wydłużenie; $\Pi_3^{sk} = \bar{c}$ – względna grubość profilu};
- parametry pasa dźwigara (element) $_{jv}$ $\Pi^d = \{\Pi_1^d = \sigma_{dop}$ – dopuszczalne naprężenia dla materiału zastosowanego do budowy pasa dźwigara; $\Pi_2^d = \rho_m$ – gęstość materiału; $\Pi_3^d = F$ – pole przekroju pasa dźwigara} [4].

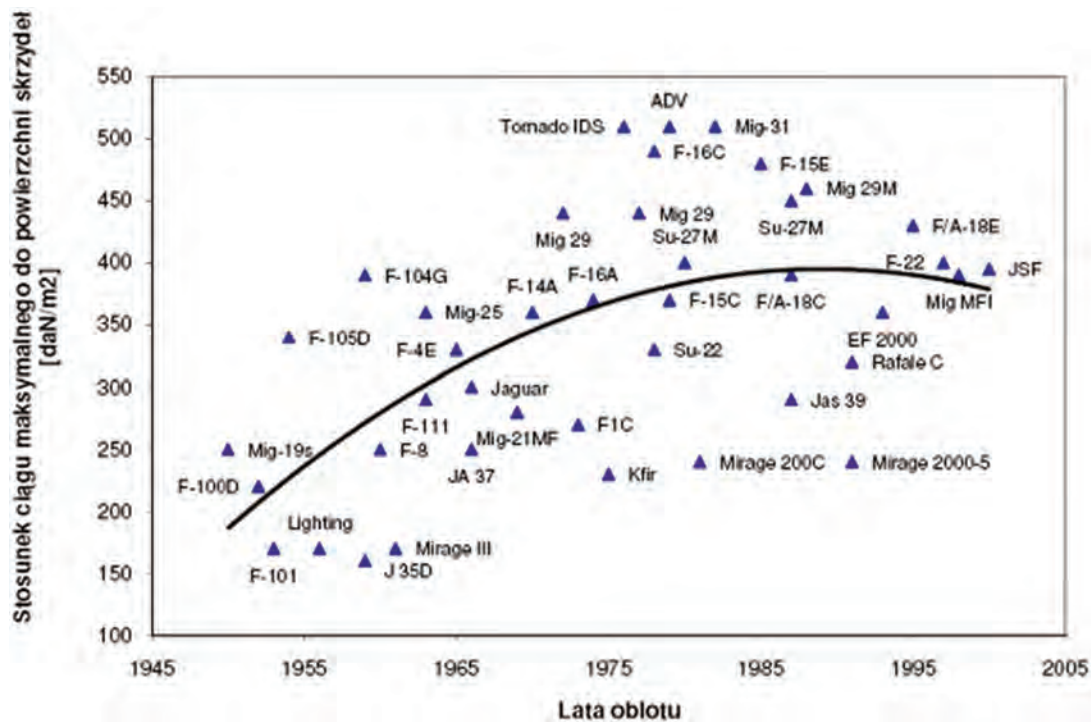


Rys. 3. Struktura obiektu techniki (samolotu) i powiązania jego parametrów

Rozwój głównych cech od początków stosowania silników odrzutowych w samolotach bojowych przedstawiono na rysunkach 4 i 5.

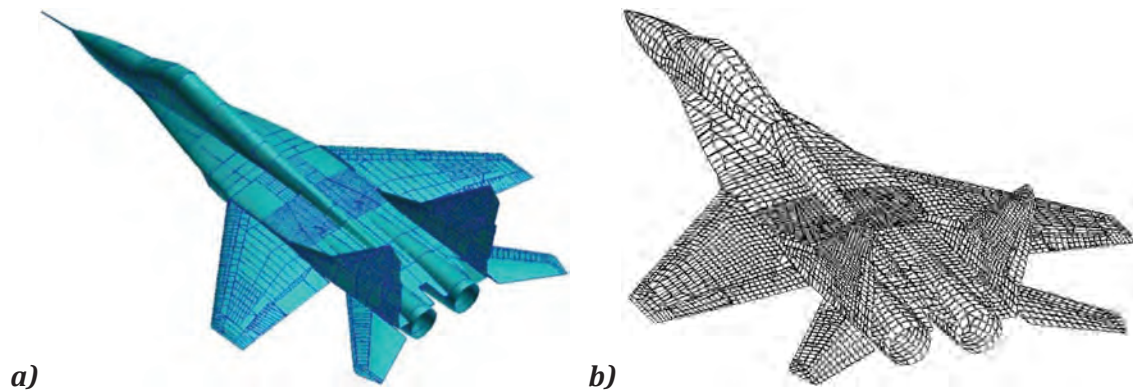


Rys. 4. Zmiana względna udźwignie samolotów bojowych [3]

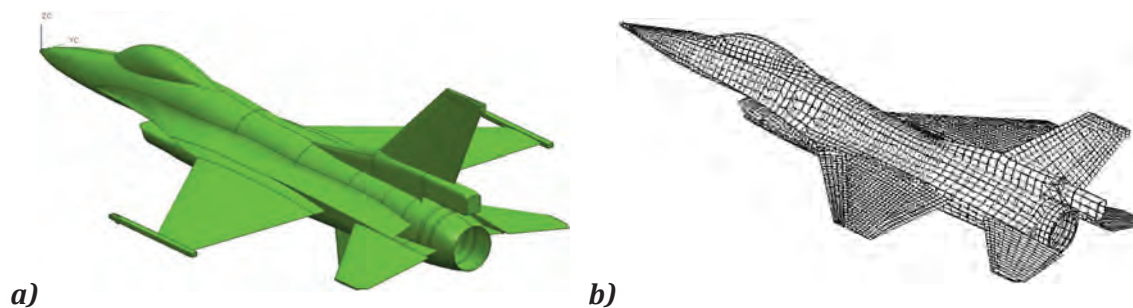


Rys. 5. Zmiana współczynnika ciągu maksymalnego do pól powierzchni skrzydeł samolotów bojowych [3]

Analizując strukturę obiektu „techniki” widać, że występują poziome związki pomiędzy parametrami struktury. Analiza dostępnych wielkości charakteryzujących jakość konstrukcji prowadzi do uzyskania niezbędnych wstępnych wartości dla parametrów uwzględnionych w procesie modelowania struktury (rys. 6 i 7).



**Rys. 6. Obiekt prognozowania – samolot MiG-29 [14]:
a) model geometryczny, b) model numeryczny**

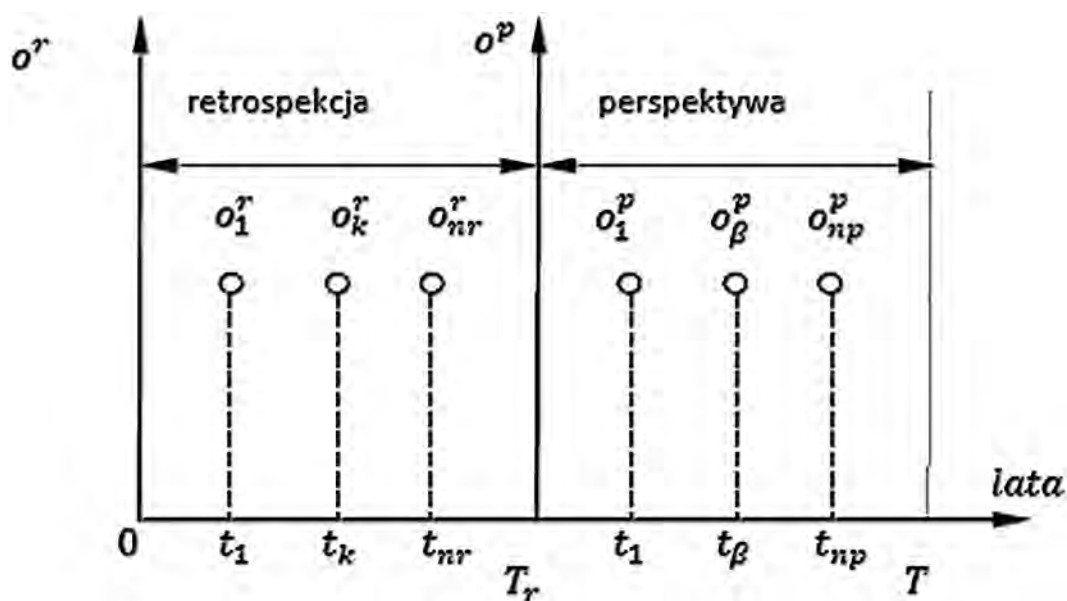


**Rys. 7. Obiekt prognozowania – samolot F-16 [13]:
a) model geometryczny, b) model numeryczny**

Naturalny rozwój obiektu polega na zamianie starego obiektu na nowy (perspektywiczny) charakteryzujący się *dynamicznym szeregiem* rozwoju, retrospektywnej analizy okresu prognozowania i perspektywicznego okresu prognozowania.

Dynamiczne szeregi rozwoju można podzielić na trzy grupy:

1. Dynamiczny szereg obiektowy stanowiący zestawienie retrospektywnych i perspektywicznych cech tego samego typu, zgodnie z przeznaczeniem obiektów różnych wytwórców ze wskazaniem czasu wprowadzenia do eksploatacji albo czasu wypuszczenia pierwszego seryjnego obiektu. Szeregi przedstawia się w zestawieniach tabelarycznych lub graficznych, które dają szerszy pogląd na prognozowanie. Na rysunku 8 przedstawiono schemat numeracji oraz tworzenia dynamicznego szeregu rozwoju obiektu, a przykładowy szereg rozwoju przedstawiono w postaci tabelarycznej (tabela 2).



Rys. 8. Dynamiczny szereg rozwoju obiektu (samolotu)

Tworzenie dynamicznego szeregu rozwoju obiektu w procesie prognozowania rozpoczynamy od wyznaczenia dwóch odcinków czasowych:

- $[0, T_r]$ – retrospektywny okres rozwoju techniki;
- $[0, T]$ – perspektywiczny (prognozowany) okres.

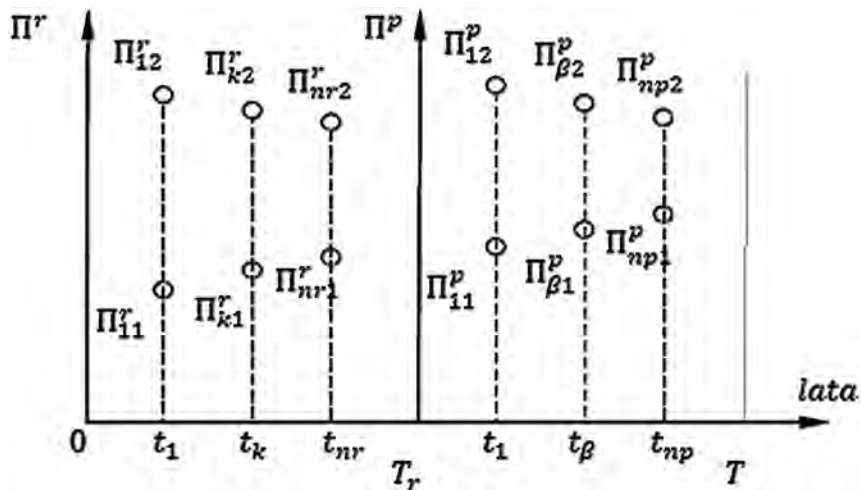
Indeksowi „ k ” odpowiada marka retrospektywnego obiektu O_k^r , (na przykład, samolot MiG-29), który pojawił się w chwili t_k , indeksowi „ β ” – odpowiada marka perspektywicznego obiektu, który może albo powinien pojawić się w przyszłości. W takim przypadku, retrospekcyjny dynamiczny szereg obiektu jest funkcją $O_k(t_k)$ dla $k = 1, 2, \dots, nr$; gdzie nr – liczba retrospektywnych wariantów rozpatrywanego obiektu (samolotu).

Perspektywiczny dynamiczny szereg obiektu jest funkcją $O_\beta(t_\beta)$ dla $\beta = 1, 2, \dots, np$; gdzie np – liczba perspektywicznych wariantów rozpatrywanego obiektu (samolotu), z których może kształtować się perspektywiczna flota rozpatrywanego typu samolotu.

2. Dynamiczny szereg parametryczny przedstawia zależność parametrów tego samego typu obiektów różnych wytwórców w zależności od roku wprowadzenia do eksploatacji. Przykład dynamicznego szeregu parametrycznego przedstawiono na rysunku 9.

Tabela 2. Dynamiczny szereg rozwoju samolotu MiG-29

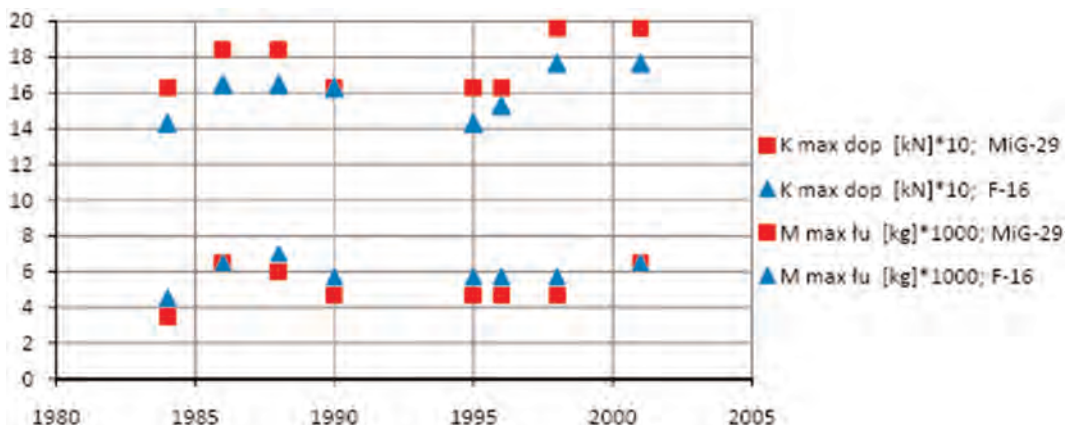
<i>Dane MiG-29</i>	<i>Wersja</i>	<i>–</i>	<i>–</i>	<i>UB</i>	<i>S</i>	<i>SD</i>	<i>SM</i>	<i>SMT</i>	<i>M</i>	<i>M2</i>	<i>K</i>
Projekt	9.12	9.13	–	9.51	9.13S	9.12SD	9.13SM	9.17	9.15	–	9.31
<i>Typ silnika</i>	RD-33	RD-33	RD-33	RD-33	RD-33	RD-33	RD-33	RD-43	RD-33K	RD-43	RD-33K
<i>k_{max} [kN]</i>	98,8	98,8	98,8	98,8	98,8	98,8	98,8	98,8/108,8	108,8	108,8	108,8
<i>k_{max} z dopal. [kN]</i>	162,8	162,8	162,8	162,8	162,8	162,8	162,8	162,8/196,2	184,4	196,2	184,4
<i>Rozpiętość</i>	11,36	11,36	11,36	11,36	11,36	11,36	11,36	11,36	11,36	12,00	12,00
<i>Długość całkowita</i>	17,32	17,32	17,32	17,42	17,32	17,32	17,32	17,32	17,32	17,15	17,27
<i>Długość bez OCP</i>	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,28	16,23	17,15	16,23
<i>Wysokość</i>	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73
<i>Własna</i>	10900	11000	11000	10900	11000	10900	11000	11000	10900	11200	11400
<i>St. w konf. gładkiej</i>	14640	14940	14940	14640	14940	14640	14940	16220	15760	17500	16260
<i>St. max.dop.</i>	18500	18500	18500	18500	20000	19700	20000	21000	22300	24000	22300
<i>Paliwa zintegrow.</i>	3440	3640	3640	3440	3640	3440	3640	4915	4560	6000	4560
<i>Paliwa dodat.</i>	1200	3040	3040	1200	3040	3040	3040	3040	3040	3040	3040
<i>Udźwig max.</i>	3500	3500	3500	3500	4700	4700	4700	4700	6500	6500	6000
<i>Udźwig uzbrojenia</i>	2200	3200	3200	2200	4200	4200	4200	4200	5200	6200	5200
<i>Max. na dużej H</i>	2450	2450	2450	2230	2450	2450	2450	2450	2500	2125	2300
<i>Max. na malej H</i>	1500	1500	1500	1400	1500	1500	1500	1500	1500	1400	1400
<i>Oderwania</i>	260	260	260	260	260	260	260	280	255	270	255
<i>Lądowania</i>	250	250	250	250	250	250	250	260	230	250	230
<i>Wznoszenia</i>	330	310	310	–	310	310	310	–	320	–	260
<i>Na dużej wysokości</i>	1430	1550	1550	1430	1550	1430	1550	2300	2000	3000	2000
<i>Na malej wysokości</i>	710	730	730	710	730	710	730	1000	910	1350	910
<i>Z dodatk. paliwem</i>	2050	2900	2900	2050	2900	2900	2900	3600	3200	4000	3200
<i>Rozbieg z dop. [m]</i>	250	250	250	250	250	250	250	300	240	300	240
<i>Dobieg ze spad. ham. [m]</i>	700	700	700	700	700	700	700	750	750	750	750
<i>Putap [m]</i>	18000	18000	18000	17400	18000	18000	18000	17000	17000	17000	17700



Rys. 9. Dynamiczny szereg parametryczny

Interpretacja rysunku 9 jest następująca:

- retrospektywny k obiekt pojawiający się w chwili t_k , charakteryzuje się zbiorem parametrów Π_k^r (na przykład, samolot MiG-29 (1977r. do eksploatacji 1984 r.) – ciąg maksymalny z dopalaniem – 162,8 kN, maksymalną prędkość $V_{max} = 2450\text{km/h}$, maksymalna masa ładunku użytkowego $m_{max\ lu} = 3500\text{kg}$ [3]);



Rys. 10. Dynamiczny szereg parametryczny samolotu MiG-29 i F-16 dla ciągu max silnika i max masy samolotu

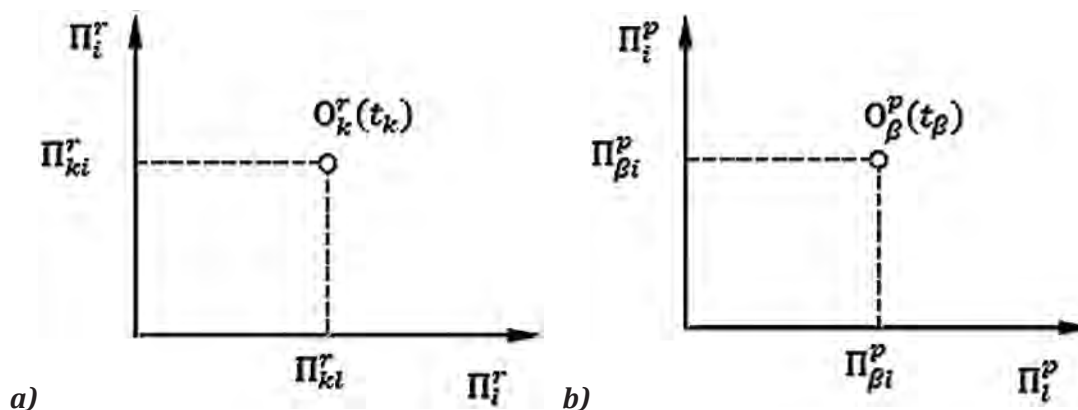
- perspektywny β obiekt, który może pojawić się w przyszłości w chwili czasu t_β będzie charakteryzować się ogólnym zbiorem parametrów Π_β^p . W takim przypadku retrospektywny dynamiczny szereg zmiany parametrów jest funkcją $\Pi^r(t)$, gdzie t przyjmuje wartość z przedziału $(0 \leq t \leq T)$, natomiast perspektywny dynamiczny szereg parametryczny jest funkcją $\Pi^p(t)$, gdzie t przyjmuje wartość z przedziału $(0 \leq t \leq T)$.

Na rysunku 10 przedstawiono przykładowy dynamiczny szereg parametryczny dla samolotu MiG-29 w zestawieniu z parametrami F-16. Warunki brzegowe dla przedziałów czasowych dynamicznego szeregu rozwoju konstrukcji samolotu MiG-29 są następujące: dla retrospektywnego okresu przedział czasowy od 1984 do 1995 roku. Natomiast dla perspektywnego okresu rozwoju przedział czasowy można przyjąć od roku 1995. Z analizy parametrów dla poszczególnych wersji widać, że okres perspektywnego rozwoju samolotu trwa.

3. *Parametro-parametryczny szereg* przedstawia zależność jednego dowolnego parametru obiektu od innego w czasie wprowadzenia obiektu (samolotu) do eksploatacji. Na rysunku 11 przedstawiono graficznie interpretację *parametro-parametrycznego szeregu*.

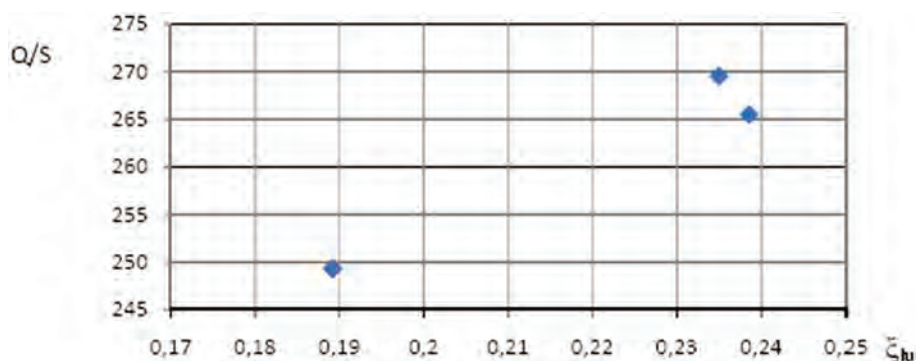
Szereg ten przedstawia zależność pewnego i -go parametru (Π_{ki}) k -go retrospektywnego parametru (lub β perspektywicznego obiektu) względem l -go parametru (Π_{kl}) (lub względem β perspektywicznego $\Pi_{\beta l}$), gdzie: $i, l = 1, 2, \dots, I$; na przykład, zależność masy ładunku użytecznego przedstawionego w postaci współczynnika ξ_{tu} do jednostkowego obciążenia skrzydła.

Zależność $\Pi_{ki}^r = f^r(\Pi_{kl}^r)$ retrospektywny parametrowo-parametryczny szereg, $\Pi_{\beta i}^p = f^p(\Pi_{\beta l}^p)$ perspektywiczny parametrowo-parametryczny szereg rozwoju obiektu.

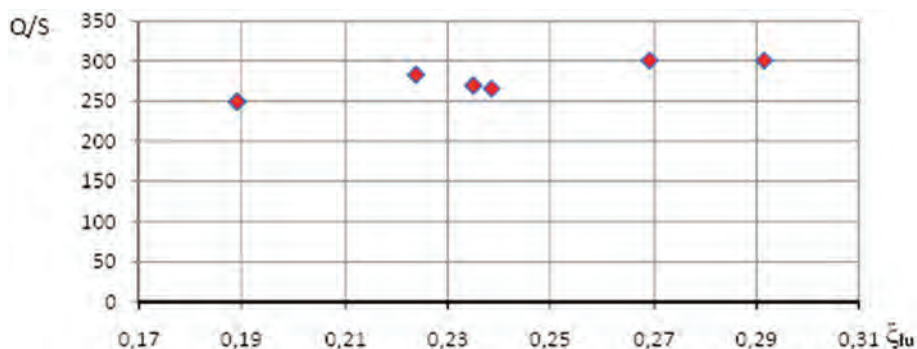


Rys. 11. Parametrowo-parametryczny szereg prognozowania rozwoju obiektu

Retrospektywny szereg wyznacza się drogą analizy danych statystycznych natomiast perspektywiczny szereg wyznacza się poprzez mechanizm prognozowanie rozwoju obserwowanego obiektu (samolotu) na bazie modeli matematycznych.



Rys. 12. Zmiana obciążenia jednostkowego skrzydła w funkcji zmiany współczynnika ładunku użytecznego w okresie retrospektywnym samolotu MiG-29



Rys. 13. Zmiana obciążenia jednostkowego skrzydła w funkcji zmiany współczynnika ładunku użytecznego w okresie perspektywicznym samolotu MiG-29

Przeprowadzone analizy prognozowania rozwoju obiektu są wstępem do procesu projektowania nowego samolotu. Proces ewolucji projektu musi być oparty o ustalone kryteria (np. masy, wytrzymałości, rodzaju przewidywanych misji, itp.). Wykonanie analizy prognozowania wspomaga proces wyznaczania ograniczeń dla optymalizowanych parametrów nowej bryły samolotu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Aleksandrowicz R., Łucjanek W., Maryniak J.: *Mechanika lotu zbiór zadań cz. I*, PWN, Łódź, Warszawa, 1963.
- [2] Balicki W., Kawalec K., Pągowski T., Szczeciński J., Szczeciński S.: *Historia i perspektywy rozwoju napędów lotniczych*, Biblioteka Naukowa Instytutu Lotnictwa, Warszawa, 2005.
- [3] Błaszczak J.: *Walory techniczno-bojowe samolotów wielozadaniowych F-16, JAS 39 Gripen, Mirage 2000-5 a jakość samolotów bojowych WLOP*, Technika i Eksploatacja, str. 50-65, marzec 2003.
- [4] Brusow W.: *Optymalne projektowanie wielozadaniowych statków latających*, Biblioteka Naukowa Instytutu Lotnictwa, 1996.
- [5] Jane's: *All the World's Aircraft*, Roczniki 1977-2006.
- [6] Kozakiewicz A., Mrozek B.: *Analiza podstawowych parametrów silników samolotów skróconego startu i lądowania*, Zbiór prac VI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej „CRASS 2005”, Kraków, 2005.
- [7] Krzyżanowski A.: *Mechanika lotu*, Wojskowa Akademia Techniczna, ISBN 978-83-61486-30-5, Warszawa, 2009.
- [8] Sibilski K.: *Modelling of Aeroplane Dynamics in Extreme Flight Conditions*, ICAS-96-3.7.2., Proceedings 20th ICAS Congress, Sorrento, 1996.
- [9] Sibilski K.: *Modelowanie granicznych stanów lotu*, Oficyna Wydawnicza WAT, 1998.
- [10] Sibilski K.: *Numerical Investigation Into Flight Dynamics of an Agile Aircraft*, Journal of Theoretical and Applied Mechanics, Vol. 38, No. 1, 2000.
- [11] Sibilski K., Błaszczak J.: *Niewidzialne samoloty*, ISBN 9788311084612, Bellona 2003.
- [12] Zalewski P.: *Selected Aspects of the Modern Fighters Evaluation*, 1st International Symposium on Future Aviation Technologies FAT 2002, str. 209-215, Budapeszt, 2002.
- [13] Olejnik A.: *Opracowanie zbioru analiz wspomagających proces wdrażania do eksploatacji samolotu F-16 w siłach zbrojnych RP*, PBG 0 T00B004 27, Warszawa, 2006.
- [14] Kachel S.: *Metoda oceny wytrzymałości elementów nośnych samolotu MiG-29 dla potrzeb eksploatacji według stanu technicznego*, PBG T00B0 006 31/1145, Warszawa, 2009.

Stanisław Kachel, Adam Kozakiewicz

METHODS OF PROGNOSINGS OF THE DEVELOPMENT OF THE OBJECT ON THE STAGE OF THE DESIGNING OF AIRCRAFTS

Abstract

In the article one presented bases of the methodologies of prognosings of the development, the change of key-parameters of exploited aircrafts and propulsive complexes whose the technical and technological development indicates new ways in the process of the designing and the optimization of air-constructions. One introduced the methodical approach to the creation of dynamic row of the development of objects, their main parameters carrying the necessary information eliminating incorrect directions in the process of the designing and the modernization of air-structures.