

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ**  
Київський інститут інженерів цивільної авіації

На правах рукопису

**КОБИЗЄВ Герман Павлович**

**СИСТЕМА БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО ВИБОРУ ВИГЛЯДУ  
ГІДРОДІТАКА ПО ОКРЕМИМ МОДЕЛЯМ**

Спеціальність 05.13.01. – Управління в технічних системах,  
05.13.12 – Автоматизоване проектування в технічних  
системах

*Анотация*

*дисертації на здобуття вченого ступеня  
кандидата технічних наук*

Київ-1994

Робота виконана в Київському інституті інженерів цивільної авіації

Науковий керівник – кандидат технічних наук,  
доцент Синеглазов В.М.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук,  
проф. КИЦА Кас'янов В.О.  
– кандидат технічних наук,  
доцент КІІ Кондратенко О.І.

Провідна організація – АНТК ім. О. К. Антонова

Захист відбудеться - 25 - 05 1994 р. о 1430 годині на  
засіданні спеціалізованої ради \_\_\_\_\_  
в Київському інституті інженерів цивільної авіації за адресою:  
252058, Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корп. 9, ауд. 308.

Ваш відгук в одному екземплярі, завірений печаткою, просимо надсилати  
за вказаною адресою.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці інституту.

Автореферат розіслав 22 04 1994 р.

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00801809 (Q)

вчений секретар гаді  
кандидат технічних наук

*Баш*

А. Г. Баскакова

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України

## Загальна характеристика роботи.

### Актуальність теми

Розвиток авіації та гідравіації зокрема на сучасному етапі характеризується необхідністю розробки перспективних зразків авіаційної техніки на високому науково-технічному рівні в найкоротші строки і при дефіциті матеріальних засобів та висококваліфікованих фахівців. Найбільш слабе місце в цій галузі в наш час є етап концептуального проектування, на якому визначається вигляд літака.

Даний етап проектування відрізняється високим рівнем відповідальності, тобто формуванням принципового характеру технічного рішення. Далі безпосередня реалізація технічного рішення є дією другого рівня і носить локальний характер. Отже помилка або невірна оцінка технічного рішення на етапі концептуального або попереднього проектування практично не виправна на наступних етапах.

Процес вибору вигляду літального апарату супроводжується формуванням альтернативних проектних рішень, з яких вибирають оптимальне. Але, в переважній більшості випадків, вибір кожного оптимального варіанту технічного рішення має багато переваг у порівнянні з іншими за деякими властивостями і в той же час поступається їм. В цих умовах досить складно не тільки виділити оптимальне технічне рішення, але й взагалі вказати найкраще. Вибираючи одне, найбільш оптимальне технічне рішення з ряду альтернативних, неможливо обмежитись якоюсь однією властивістю, а необхідно враховувати всю їх сукупність.

Задача вибору вигляду літака-амфібії (далі - гідролітака) стоїть у області багатокритеріальних задач.

Одною з особливостей етапу концептуального проектування є необхідність роботи з нечіткими знаннями, які являють собою досвід, знання та інтуїцію проектувальника. До того ж ці знання суб'єктивні, що надає їм елементу невизначеності. Це істотно ускладнює застосування існуючих систем автоматизованого проектування на даному етапі.

Актуальність теми даного дослідження полягає в необхідності створення принципово нової системи вибору вигляду гідролітака, яка б дозволила підвищити якість проектного рішення; скоротити терміни пошуку прийнятного технічного рішення, використати попередній досвід проектування, працювати із змішаними потоками нечітких та чітких знань, урахувати суб'єктивність знань, урахувати складний взаємозв'язок характеристик проектного рішення, максимально використати розроблений математичний апарат, обґрунтовано провести вибір перспективного проектного рішення з великої кількості альтернативних.

### **Ціль роботи**

Розробити систему багатокритеріального вибору вигляду гідролітака по окремим моделям.

Для досягнення поставленої цілі були вирішені такі задачі:

1. Розроблено склад моделей системи багатокритеріального вибору вигляду гідролітака.
2. Розроблені чисельні алгоритми рішення системи рівнянь, які представляють окремі моделі.
3. Виділено характерні параметри моделей системи.
4. Розроблено критерії оцінки якості поточного стану окремих моделей.
5. Розроблено алгоритм багатокритеріального вибору вигляду гідролітака по окремим моделям.

### **Наукова новизна**

По-новому поставлена і вирішена задача багатокритеріального вибору вигляду гідролітака.

Синтезовані окремі математичні моделі системи.

Поставлена і вирішена задача формалізації та нормування можливості використання нечітких оцінок на ранніх етапах проектування.

Запропоновано алгоритм багатокритеріального вибору вигляду гідролітака.

### **Практична цінність**

Розроблені та програмно реалізовані окремі математичні моделі системи.

Розроблено та програмно реалізовано блок формалізації та нормування нечітких оцінок на ранніх етапах проектування.

Розроблено та програмно реалізовано алгоритм багатокритеріального вибору вигляду гідролітака у системі окремих моделей.

Розроблено методику кількісної оцінки вибору оптимального рішення проектного вирішення та ціленаправленої генерації нових проектних рішень.

Використання розробленої системи дозволяє скоротити строки та підвищити якість проектування нової авіаційної техніки.

### **Реалізація роботи**

Розроблені математичні моделі, чисельні моделі, методики, алгоритми та програмне забезпечення можуть бути використані при проектуванні перспективних складних технічних систем: гідролітаків, надлегких літальних апаратів, парусних суден при оцінці якості проектних рішень, як у формі нечітких знань, так і у змішаному уявленні нечітких та чітких знань.

Результати дисертації використані та впроваджені на Таганрогському авіаційному науково-технічному комплексі ім. Г.Т.Берієва (ТАНТК), в КБ ЛА "Крілья" (Таганрог) та КБ ТОО "Арсенал" (Таганрог), що підтверджено відповідними документами.

## Апробація роботи

Головні результати роботи обговорювались на Міжнародній авіаційно-технічній конференції Canada Air Show-90 (Канада, Ванкувер, 1990); Міжнародній авіаційно-технічній конференції Paris Air Show-91 (Франція, Париж, 1991); Міжнародній конференції по перспективним морським транспортним засобам НРМV-92 (США, Арлінгтон, 1992); конференції з проблем багатокритеріальної оптимізації (Україна, Київ, 1992); Першій міжнародній конференції по екранопланам (Росія, Іркутськ, 1993); Міжнародній конференції по перспективним швидкісним транспортним засобам FAST-93 (Японія, Йокогама, 1993).

## Публікації

По темі дисертації опубліковано вісім друкованих робіт.

## Структура та обсяг роботи

Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів та заключення, що викладені на 160 сторінках, вміщує 60 рисунків, 13 таблиць, список літератури із 101 найменування та трьох додатків.

## Основний зміст роботи

Вступ до дисертаційної роботи присвячений визначенню цілі, задач та напрямку досліджень.

У першому розділі запропоновано розгляд гідролітака як системи моделей, яка базується на функціональній особливості частини об'єкту проектування та етапів його експлуатації, що дозволяє формалізувати процес вибору вигляду, як процес зміни якісних характеристик стану системи моделей: функціональної, геометричної, аеродинамічної, гідродинамічної, конструктивно-силової та вагової.

Кожна з цих моделей характеризується такою структурою:

- поняттями, які дозволяють описати модель, що розглядається;
- законами які характеризують стан моделі, що розглядається при зміні значень вектору параметрів;
- векторами змінних параметрів, які однозначно характеризують поточний стан моделі;
- вектором обмежень, які накладаються на кожний елемент вектора змінних параметрів;
- вектором окремих критеріїв моделі, яка розглядається;

- вектором обмежень, які накладаються на кожний елемент вектора змінних параметрів;

- вектором окремих критеріїв моделі, яка розглядається;

- вектором бажаних значень критеріїв, які формулюються на основі аналізу технічного завдання на об'єкт проектування.

Отже дітак, як система моделей, являє собою поєднання відповідних множин.

Сформульовані вимоги до множини критеріїв, що базуються на підході до задачі про вибір вигляду, як до задачі багатокритеріальної оптимізації, що дозволяє сформулювати множини, що найбільш повно та глибоко характеризують стан системи моделі.

Виділені ознаки поточного стану розробки систем автоматизованого проектування на основі публікацій та досвіду конструкторського бюро попереднього проектування ТАНТК, що дозволяє сформулювати вимоги до таких систем нового покоління.

Проведено аналіз процесу концептуального проектування, як процесу трансформації нечітких знань у чіткі, що дозволило виділити та охарактеризувати основні етапи цього процесу.

Взагалі опис процесу проектування може бути представлений у такому вигляді:

$$\langle \Pi, T, C, A^{T3}, A, O, X, L, Y \rangle,$$

де  $\Pi = (\Pi_1, \dots, \Pi_n)$  - множина умов задачі проектування, що вирішується.

$T$  - час, відведений для її рішення;

$C = (C_1, \dots, C_n)$  - розрахункові процедури та методи вирішення задачі проектування;

$A^{T3} = (A^{T3}_1, \dots, A^{T3}_n)$  - множина цілей проектування;

$A = (A_1, \dots, A_n)$  - множина характеристик, відображаючих властивостей та якості альтернативних варіантів;

$O = (O_1, \dots, O_n)$  - множина обмежень на характеристики  $A$ ;

$X = (X_1, \dots, X_n)$  - множина альтернативних варіантів;

$L = \Phi(\omega, X)$  - узагальнений критерій зменшення ефективності;

$\bar{\omega} = f(A^{T3}, Y)$  - функція зв'язку між характеристиками проектного вирішення та цілями (оцінка переваг, вагові коефіцієнти);

$Y = (Y_1, \dots, Y_n)$  - множина факторів, що визначають призначення об'єкту проектування.

Для зведення задачі концептуального проектування до формально розв'язуваної, необхідно зняти невизначеності. Цього можна досягти, визначивши оцінки. Для цього проектувальнику потрібен інструмент для вимірювання якісних характеристик.

В роботі використані спеціальні функції приналежності. На їх основі вводяться лінгвістичні зміни, які мають такі переваги:

- максимальна наближеність до природних понять, якими оперує проектувальник;

- більш повне відображення всіх особливостей характеристик, які оцінюються, та їх поточний стан;

- вони є точними операндами для ЕВМ;
- допомагають проєктувальнику формалізувати ступінь розпливчатості оцінок.

В процесі проєктування, особливо на ранній стадії, користуються такими поняттями, як "новизна схеми", "ступінь технічного ризику", "наявність знань по веродинаміці", "наявність знань по гідродинаміці", "технологічна досконалість" та ін. Кожен із наведених на природній мові термін, може бути представлений у вигляді:

$$A = \int_U \mu_A(y) / y,$$

де  $A$  - нечітка множини елементів;

$U$  - область міркування;

$\mu_A$  - функція приналежності;

$y$  - елемент області міркування.

Функція приналежності зв'язує з кожним елементом "у" область міркувань  $U$  число  $\mu_A(y)$ , яке лежить в інтервалі  $[0..1]$  і показує ступінь приналежності "у" до множини  $A$ . При кінцевому числі елементів "у" множини  $A$  можна представити у такому вигляді:

$$A = \mu_1 / y_1 + \mu_2 / y_2 + \dots + \mu_n / y_n = \sum_{i=1}^n \mu_i / y_i.$$

Розроблені базові терми характеристик етапу концептуального проєктування та їх модифікатори, які ґрунтуються на використанні лінгвістичних змінних та функції приналежності, що дозволяє формально описати очікувані характеристики.

Формально лінгвістична змінна може бути представлена у вигляді структурованого запису:  $\langle X, T(X), U, G, M \rangle$ ,

де  $X$  - назва лінгвістичної змінної;

$T(X)$  - термножина значень лінгвістичної змінної;

$U$  - множина значень базової змінної;

$G$  та  $M$  - синтаксичні та семантичні правила, які доводять до відповідності її зміст  $M(X)$  та структурну організацію  $G(X)$ .

Термножина  $T(X)$  звичайно має декілька атомарних термів, наприклад, "погано", "добре". Базуючись на цьому, за допомогою модифікаторів "дуже", "не дуже", "більш", "менш" можна побудувати складову лінгвістичну змінну.

Складові терми будуються за допомогою логічних операцій, що виконуються над звичайними множинами. Зперечення "не" нечіткої множини  $A$  визначається

$$\sim A \Delta \int_U (1 - \mu_A(y)) / y.$$

Невизначеність типу "дуже" діє як підсилювач та інтерпретується за допомогою операції концентрування  $A \Delta \int_U \mu_A^2(y) / y$ .

Для вираження нечітких термів "більш", "менш" використовується наближені формули  $A \Delta \int_U \mu_A^{1.5}(y) / y$ ,  $A \Delta \int_U \mu_A^{0.5}(y) / y$ .

У другому розділі розглянуті питання чисельної реалізації окремих моделей.

Розроблено структуру геометричної моделі, яка ґрунтується на ієрархічній складності об'єкту моделювання, що дозволяє цілеспрямовано проводити геометричне моделювання.

Верхній рівень геометричної моделі характеризує цілісний опис об'єкту, який моделюється, що можна висловити у такому вигляді:  $M = \langle G, \Theta \rangle$ ,

де  $G$  – кінцевий ациклічний кореневий граф, що відображає ієрархічну структуру об'єкту;

$\Theta$  – інтерпретація графа  $G$ , що дає надлишковий опис об'єкту.

На нижньому рівні геометричної моделі, що розглядається, враховуються частинні залежності між дочірніми та батьківськими вершинами, а також частинні поняття, що інтерпретують вершини графа у просторі  $R^3$ . Таким чином, для геометричної моделі, що розглядається, можна записати

$$M = \langle \langle \{v_1 \dots v_n\}, \{d_1 \dots d_s\} \rangle \langle \{A_1 \dots A_n\}, \{\Phi_1 \dots \Phi_n\}, \{k_1 \dots k_n\} \rangle, \langle \{F_1 \dots F_n\}, \{\Psi_1 \dots \Psi_n\}, \{k'_1 \dots k'_n\} \rangle \rangle.$$

де  $v_i$  – елементи множини  $V$  вершини графа  $G$ ;

$d_j$  – елементи множини вершин  $D$  графа  $G$ ;

$A_i$  – афінні перетворення, що визначають системи координат вершин  $v_i$ , графа  $G$ ;

$\Phi_i$  – поняття, що інтерпретують вершини графа  $v_i$  у просторі  $R^3$ ;

$k_i$  – закони формування вершини  $v_i$  у просторі  $R^3$ , що описані за допомогою понять  $\Phi_i$ ;

$F_i$  – булева функція, яка є засобом композиції вершин більш високого рівня з вершини, що визначаються підграфами;

$\Psi_i$  – поняття, які інтерпретують можливі перетворення над множиною вершин графа, що визначаються поняттями  $\Phi_i$  та булевою функцією  $F_i$ ;

$k'_i$  – закони перетворень, що описані за допомогою понять  $\Psi_i$ .

Поверхню гідролітака пропонується описувати комбінованим методом, який дозволяє використовувати кінематичні та статистичні принципи відображення.

Параметричні лінії представлєні кривими 2-го та 3-го порядків.

Запропоновані критерії геометричної моделі, які базуються на контролі відхилення контура, мінімумі точок перегибу, що дозволяє оцінити поточну якість геометричної моделі, та вплив їх параметрів на якість моделі та системи моделей в цілому.

Запропонована аеродинамічна модель, що базується на методі дискретних вихорів, який дозволяє визначити складні та розподілені стаціонарні аеродинамічні характеристики об'єкту проектування.

Даний метод полягає в тому, що рухома поверхня та вихровий слід замінюються системою дискретних вихорів. Таким чином задача зводиться до знаходження інтенсивності такого вихрового шару, який моделює крило та вихровий слід, щоб індуковане поле швидкостей відповідало поставленим граничним умовам:

- а) при ustalеному русі вихори спрямовані по лінії потоку;
- б) циркуляція швидкості по будь-якому замкненому контуру з часом не змінюється;
- в) вихровий слід не створює несучої сили (необхідно додержуватись умови нерозривності тиску при переході через нього).

Індуковане за допомогою елементу довжини  $ds$  дискретного вихору поле швидкостей обчислюється по формулі Біо-Савара  $dV = \frac{\Gamma}{4\pi} \frac{ds \times r}{r^3}$ .

Одержане поле швидкостей задовольняє умові нерозривності у всьому просторі та загасає на нескінченному віддаленні від вихрової поверхні.

Розрахункова схема являє собою мережу підковоподібних вихорів, що враховує такі зауваження:

- а) розміри та кількість вихрових чарунок змінюються у залежності від особливостей аеродинамічної компоновки, яка розглядається;
- б) точки виконання граничних умов лежать в центрі ваги вихрової чарунки;
- в) на гострих кромках виконується умова про скінченність швидкостей (умова Чаплигіна-Жуковського).

Значення циркуляцій  $\Gamma_{jm}$  дискретних вихорів у цьому випадку запропоновано знаходити із системи лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{m=1}^N \Gamma_{jm} \omega_{jm}^m = -V_{jm}^*, \quad j = 1, \dots, n, \quad m = 1, \dots, N,$$

де  $V_{jm}^*$  - нормальна складова швидкості від потоку, що набігає, в розрахунковій точці  $P_{jm}$ .

Ця система рівнянь апроксимує інтегральне рівняння:

$$\frac{1}{4\pi} \iint_{\alpha} \frac{\gamma(x, z)}{(z_0 - z)^2} \left( 1 + \frac{x_0 - x}{\sqrt{(x_0 - x)^2 + (z_0 - z)^2}} \right) dx dz = -V^*(x_0, z_0).$$

У даній аеродинамічній моделі реалізовані такі типові розрахункові елементи аеродинамічних поверхонь: крило, фюзеляж, потік, мотогондола.

Запропоновані критерії аеродинамічної моделі, основані на розгляді сумарних та розподілених стаціонарних аеродинамічних характеристик, що дозволяє оцінити точну якість аеродинамічної моделі, та вплив її параметрів на якість моделі та системи моделей в цілому.

Запропонована гідродинамічна модель базується на методі плоских перерізів, що дозволяє визначити сумарні та лінійні гідродинамічні характеристики об'єкту проектування.

Цей метод є наближенням до реального процесу гісування тіл великого подовження.

Сумарні гідродинамічні сили та поздовжній момент, які діють на човен гідролітака одержують шляхом інтегрування (підсумовування) по довжині човна. У нижче наведених формулах знак  $\sum$  означає підсумовування по індексу  $i$  по всім перерізам. При розрахунку поздовжнього моменту плече сили  $l_{x_i}$  повинно дорівнюватися відстані по висоті у зв'язаній системі координат від центру ваги до середини змоченого контуру перерізу.

Підйомна гідродинамічна сила

$$F_{y_{\text{гет}}} = F_{y_{\text{ст}}} - A_{11}\ddot{y} - A_{12}\ddot{u} + A_{13}\dot{V}$$

$$\text{де } F_{y_{\text{ст}}} = \rho \sum \Delta x_i (l_{y_{\text{ст}i}} + g l_{y_{\text{ст}i}});$$

$$A_{11} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2, \quad A_{12} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 x_{ii};$$

$$A_{13} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 (v + h_{ii});$$

Сила гідродинамічного опору

$$F_{x_{\text{гет}}} = F_{x_{\text{ст}}} - A_{21}\ddot{y} - A_{22}\ddot{u} + A_{23}\dot{V}$$

$$F_{x_{\text{ст}}} = \rho \sum \Delta x_i (l_{x_{\text{ст}i}} + g l_{x_{\text{ст}i}}) (v + h_{ii}) + l_{y_{\text{ст}i}} c_i + c_i u_i c_{ii} V_i^2 l_i$$

$$A_{21} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 (v + h_{ii} + u_i c_{ii} \beta_i);$$

$$A_{22} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 (v + h_{ii} + u_i c_{ii} \beta_i) x_{ii};$$

$$A_{23} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 (v + h_{ii} + u_i c_{ii} \beta_i) (u + h_{ii});$$

Поздовжній гідродинамічний момент  $M_{z_{\text{гет}}} = M_{z_{\text{ст}}} - A_{31}\ddot{y} - A_{32}\ddot{u} + A_{33}\dot{V}$ ,

$$\text{де } M_{z_{\text{ст}}} = \rho \sum \Delta x_i (l_{z_{\text{ст}i}} + g l_{z_{\text{ст}i}}) x_{ii} + (h_{ii} + u_i \beta_i c_{ii}) \times$$

$$\times (l_{y_{\text{ст}i}} c_i + g l_{y_{\text{ст}i}} (h_{ii} + u_i c_{ii})) + c_i u_i c_{ii} V_i^2 c_{ii}$$

$$A_{31} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 (x_{ii} + (h_{ii} + u_i \beta_i c_{ii}) c_{ii});$$

$$A_{32} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 (x_{ii} + (h_{ii} + u_i \beta_i c_{ii}) c_{ii}) x_{ii};$$

$$A_{33} = \rho \sum \Delta x_i c_i u_i^2 (x_{ii} + (h_{ii} + u_i \beta_i c_{ii}) c_{ii}) (v + h_{ii});$$

Ефективна горизонтальна швидкість  $V_1$ , що входить у вираз  $l_{y_{\text{ст}}}$  обчислюється шляхом ітерацій. Дорівнюючи аеродинамічні сили до інерційних, враховуючи кути тангажу та нахилу траєкторії малими, одержуємо такі рівняння руху

$$m\ddot{y} = F_{y_{\text{гет}}} + F_y + P_{y, \text{г}} - mg; \quad mR^2\ddot{\theta} = M_{z_{\text{гет}}} + M_z - P_{\text{дв}} y_{\text{дв}};$$

$$m\ddot{x} = -F_{x_{\text{гет}}} - X_x + P_{\text{дв}}.$$

Запропоновані критерії гідродинамічної моделі, основані на сумарних та лінійних характеристиках об'єкту проектування, що дозволяє оцінити поточну якість моделі та системи моделей в цілому.

Запроваджена конструктивно-силова модель, яка базується на методі скінченного елемента, що дозволяє отримати характеристики напружено-деформованого стану об'єкту проектування.

У КСС моделі, що розглядається, за основу прийнято метод переміщень, для якої шуканою функцією є функція переміщень  $u = f(x, y, z)$ , що залежить від поточних значень координат у просторовій ортогональній системі. Закон змін  $P$  повинен задовольняти диференційному рівнянню в частинних похідних:

$$\frac{\partial}{\partial x}(k_{xx} \frac{\partial P}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_{yy} \frac{\partial P}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_{zz} \frac{\partial P}{\partial z}) + Q = 0$$

Використання варіаційного підходу дозволяє перейти від інтегрування даного рівняння до задач мінімізації функціоналу  $\bar{\chi}$ :

$$\bar{\chi} = \int_V \frac{1}{2} [k_{xx} (\frac{\partial P}{\partial x})^2 + k_{yy} (\frac{\partial P}{\partial y})^2 + k_{zz} (\frac{\partial P}{\partial z})^2 - 2QP] dV + \int_S q^f P dS,$$

де  $k_{xx}$ ,  $k_{yy}$ ,  $k_{zz}$  - деякі фізичні параметри, що визначають інтенсивність змін досліджуваної функції по всім  $Ox$ ,  $Oy$ ,  $Oz$  відповідно;

$Q$  - деяка інтегральна функція, що визначає крайові умови;

$q$  - деяка розподілена функція, що характеризує виконання граничних умов на кінцевій області досліджуваної поверхні.

Остаточно приходимо до розв'язувальної системи лінійних алгебраїчних рівнянь (СЛАР) у вигляді

$$|K| \{U\} = \{P\},$$

$$\text{де } |K| = \Sigma |K^e|;$$

$$\{P\} = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}.$$

При рішенні даного матричного рівняння на всій області існування моделі МКС можуть бути визначені як компоненти функціоналу переміщень відносно вузлів топологічного простору, так і компоненти деформацій на кожному з елементів, отже і компоненти напруженого стану.

Запропоновані критерії конструктивно-силової моделі основані на оцінці силової маси, силової ваги, потенційної енергії деформації, незруйнованості та технологічності конструкції, що дозволяє оцінити поточну якість конструктивно-силової моделі та системи моделей в цілому.

Запропонована вагова модель, яка базується на системі алгебраїчних рівнянь, що дозволяє визначити вагові характеристики агрегатів виробу, який проектується.

Складові маси літака визначаємо по формулам:

а) маса планера - сума мас крила, човна, оперення та шасі:

$$m_{пл} = m_{кр} + m_{л} + m_{об} + m_{ш};$$

б) маса порожнього спорядженого – сума мас планера, обладнання та силової установки:  $m_{п.сн} = m_{пл} + m_{об} + m_{су}$ ;

в) маса корисного навантаження – сума мас комерційного навантаження та палива:  $m_{пн} = m_{ком} + m_{т}$ ;

г) злітна маса – сума мас порожнього спорядженого та корисного навантаження  $m_0 = m_{п.с.} + m_{пн}$ ;

Запропоновані критерії вагової моделі, оснований на відносних вагових характеристиках, які дозволяє оцінити поточну якість вагової моделі, та вплив параметрів на якість моделі та системи моделей в цілому.

Запропонована компоновочна модель, яка базується на системі алгебраїчних виразів, що дозволяють виконати компоновочні схеми виробу, що проектується.

Задача компоновки обладнання на борту літального апарату полягає у визначенні схеми розміщення обладнання на борту гідролітака, укрупнену розбивку гідролітака на укрупнені відсіки .

В компоновочній моделі, яка розглядається в якості змінних виступають параметри, що однозначно визначають положення конструктивних елементів у просторі.

Взагалі достатньо шести змінних:

– три змінних характеризують точки прив'язки конструктивного елемента  $[ X, Y, Z ]$ ;

– три змінних у вигляді кутів Ейлера, що характеризують кутове положення вісєй місцевої системи координат конструктивного елемента  $(\alpha, \beta, \gamma)$ .

Обмеження можна розділити на такі групи вимог:

– до функціональних об'єднань (відсіків) конструктивних елементів;

– до розміщення окремих конструктивних елементів;

– до існування функціональних об'єднань конструктивних елементів.

Задача розв'язується шляхом досліджень поведінки компоновочної моделі формалізованої у вигляді системи нерівностей  $\{ \Phi_i(X) < B_i \}$ .

де  $\Phi_i(X)$  – критерії якісного стану компоновочної моделі, яка розглядається;

$B_i$  – граничні значення критеріїв якісного стану компоновочної системи.

Запропоновані критерії компоновочної моделі оснований на оцінці відхилень положення центру ваги від бажаного положення, надійності, трудозатрат по монтажу, маси комунікацій, які зв'язують конструктивні елементи, що дозволяє оцінити поточну якість компоновочної моделі, вплив параметрів моделі, та системи моделей в цілому.

В третьому розділі розглянуті питання багатокритеріальної оптимізації системи моделей.

Проведено огляд існуючих методів вирішення багатокритеріальних задач, аналізу області змін і методів нормування критеріїв, методів багатокритеріальної оптимізації.

Розроблено та чисельно реалізовано алгоритм багатокритеріальної оптимізації системи моделей.

Встановлено множину параметрів  $\{P_i\}$ ,  $i=1\dots p$  та множину критеріїв  $\{K_j\}$ ,  $j=1\dots k$ .

Визначено діапазони змін чисельних та якісних параметрів  $\{K_i\}$  та відображено на інтервалі  $[0\dots 1]$ .

Введено лінгвістичну змінну, що складається з атомарних термів.

На наступному етапі установлюються значення критеріїв відповідно до технічного завдання та найкращого (бажаного) проектного рішення  $\{A^{T3}_j\}$ .

Визначено значення критеріїв, які характеризують поточний стан моделей, що відповідає оцінці поточного варіанту проектного рішення.

Після генерації декількох варіантів одержана матриця оцінок  $\{A_{ij}\}$ :

де  $i = 1\dots n$  - кількість варіантів проектного рішення;

$j = 1\dots k$  - кількість критеріїв.

Визначено величину непогодження значень критеріїв, що відповідають ТЗ (бажаному, найкращому варіанту) і кожному поточному варіанту:

$$l_{ij} = (A^{T3}_j - A_{ij}) = |\mu_{A^{T3}_j}(y) - \mu_{A_{ij}}(y)|.$$

Для j-го критерія

$$l_j = \frac{1}{2F^{max}} (|f_{A^{T3}_j} - f_j| + ((m_{A^{T3}_j} - m_{A_j})^2 + |f_{A^{T3}_j}(y) - f_j(y)|^2) / (2F^{max} - (f_{A^{T3}_j} - f_j))) ,$$

де  $f_{A^{T3}_j} = |\mu_{A^{T3}_j}^{max}(y)| / I$  - нормований показник нечіткості функції приналежності;

$F^{max} = \mu(y)^{max} y^{max} = 1$  - параметр максимальної невизначеності;

$F_{A^{T3}_j} = \int_0^1 \mu_{A^{T3}_j}(y) dy$  - показник невизначеності критеріїв  $A^{T3}_j$  и  $A_j$ ;

$$m_{A^{T3}_j} = y_{A^{T3}_j}^{max} = S_{A^{T3}_j}^{(y)} / F_{A^{T3}_j} = \int_{y_{A^{T3}_j}^{min}} y dF / F_{A^{T3}_j} = \int_0^1 y \mu(y) dy / \int_0^1 \mu_{A^{T3}_j}(y) dy$$

- моди підінтегральних площин F функцій приналежності.

Далі визначено сумарні значення невважених непогоджень  $L_j = \sum_{i=1}^n l_{ij}$ .

Призначено вагові коефіцієнти та визначено сумарні вважених непогоджень

$$L_j^* = \sum_{i=1}^n \omega_i l_{ij} ,$$

Пріоритети критеріїв характеризуються рядом  $R = (1 \dots k)$ , вектором пріоритету  $V = (V_1 - V_2)$  та вектором вагових коефіцієнтів  $\Omega = (\omega_1 \dots \omega_k)$ .

Ряд пріоритету відбиває якісне відношення між критеріями - їх черговість. Вектор пріоритету визначається в результаті попарного нерівняння критеріїв, попередньо упорядкованих у відповідності з рядом пріоритету. Компоненти вектора вагових коефіцієнтів показують переваги j-го критерія перед іншими. Для елемента вектора вагових коефіцієнтів одержано

$$\omega_i = \prod_{k=1}^n v_k / \prod_{j=1}^n \prod_{k=1}^n v_k, \quad \omega_i = \prod_{k=1}^n v_k / \sum_{j=1}^n \prod_{k=1}^n v_k .$$

Визначено рівень відносної невизначеності  $\Delta_j = \bar{H}_j / L_j^*$ .

$$\text{де } \bar{H}_j = \sum_{i=1}^n \omega_i l_{ij}^2; \quad L_j^* = \sum_{i=1}^n \omega_i l_{ij}^2; \quad l_{ij}^2 = ((y_j - y_i)^2 + (\mu_j - \mu_i)^2)^{1/2}.$$

Виділено множину перспективних проектних рішень з умови:

$$(L_i^1 - L_i^2)^{\min} \geq (L_i^1 - H_i), \quad (L_i^1)^{\min} = \min L_i^1.$$

Вибір найбільш перспективного варіанту з групи перспективних здійснюється за умови мінімуму максимального непогодження по критерію  $\min, \max, h_j = M$ , в якій зацікавлені проектувальники на даному етапі.

Для більш точної оцінки проектних рішень з точки зору на співвідношення детермінованої та невизначеної складових виділено ще декілька умов.

$$\text{Оцінка по середнім значенням } C^A = \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^A, \quad C^H = \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^H;$$

$$C^{A-H} = \min, \left\{ \theta \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^A + (1-\theta) \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^H \right\}, \quad 0 \leq \theta \leq 1.$$

Оцінка по непогодженню невизначених складових

$$H = \min, \sum_{j=1}^n (\max, |I_{ij}^H - \bar{I}_{ij}^H|), \quad H_{\sigma} = \min, \sum_{j=1}^n \left| \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{ij}^H - \bar{I}_{ij}^H \right|^2.$$

Оцінка на основі виважених комбінацій середніх значень та непогоджень.

$$P^A = \min, \left\{ \gamma \min, \sum_{j=1}^n (\max, |I_{ij}^A - \bar{I}_{ij}^A|) + (1-\gamma) \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^A \right\}, \quad 0 \leq \gamma \leq 1;$$

$$P^H = \min, \left\{ \beta \min, \sum_{j=1}^n (\max, |I_{ij}^H - \bar{I}_{ij}^H|) + (1-\beta) \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^H \right\}, \quad 0 \leq \beta \leq 1.$$

Узагальнена оцінка

$$P^{A-H} = \min, \left\{ v \min, \left\{ \gamma \min, \sum_{j=1}^n (\max, |I_{ij}^A - \bar{I}_{ij}^A|) + (1-\gamma) \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^A \right\} + \right. \\ \left. + (1-v) \min, \left\{ \beta \min, \sum_{j=1}^n (\max, |I_{ij}^H - \bar{I}_{ij}^H|) + (1-\beta) \min, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n I_{ij}^H \right\} \right\}, \quad 0 \leq v \leq 1.$$

Коефіцієнти  $\theta, \gamma, \beta, v$  характеризують ступінь відповідальності проектувальника за рішення, що приймається. Повна гарантія досягається у випадку, коли проектне вирішення є кращим по всім оцінкам.

В четвертому розділі наведений приклад вибору вигляду надважкого гідролітака за допомогою системи окремих моделей.

Дана оцінка перспективності розроблених схемних рішень надважкого гідролітака на основі аналізу експертних оцінок у формі нечітких знань. Приведені дані, що відображають технологію одержання вектора вагових коефіцієнтів критеріїв оцінки, а також результати вибору перспективних схемних рішень та їх аналіз.

На основі результатів цього аналізу розроблені напрямки цілеспрямованої модифікації перспективних варіантів з метою підвищення якості проектних рішень.

Приведені результати формування вигляду перспективного надважкого гідролітака на основі системи багатокритеріального вибору вигляду по окремим моделям.

Приведені результати роботи геометричної моделі:

- визначено основні розмірності надважкого гідролітака;
- проведено формотворення поверхонь складових агрегатів надважкого гідролітака (консоли, центроплан, оперення, човен);
- проведено оцінку якості геометрії надважкого гідролітака по критеріям.

Приведені результати роботи компоновочної моделі:

- розроблена та ув'язана укрупнена компоновка надважкого гідролітака по відсікам;
- проведено оцінку якості компоновки надважкого гідролітака по критеріям.

Приведені результати роботи аеродинамічної моделі:

- розроблено розрахункову схему надважкого гідролітака;
- визначено підсумкові стаціонарні характеристики надважкого гідролітака у вільному потоці та біля екрана;
- визначено розподілені характеристики по поверхні надважкого гідролітака у вільному потоці та біля екрана;
- визначено розподілені характеристики потоку в площині екрану з урахуванням піддуву та без нього;
- проведено оцінку аеродинаміки надважкого гідролітака по критеріям.

Приведені результати роботи гідродинамічної моделі:

- визначено основні гідродинамічні характеристики надважкого гідролітака в повздовжньому русі при взльоті та посадці на збурену водну поверхню;
- проведено оцінки гідродинаміки надважкого гідролітака по критеріям.

Приведені результати роботи конструктивно-силової моделі:

- розроблена розрахункова схема надважкого гідролітака;
- визначені основні параметри напружено-деформованого стану конструктивно-силової схеми надважкого гідролітака;
- проведення оцінки конструктивно-силової схеми надважкого гідролітака по критеріям.

Приведені результати роботи вагової моделі.

- проведено оцінку вагових характеристик агрегатів надважкого гідролітака;
- проведено оцінку ваги надважкого гідролітака по критеріям.

Приведені результати оцінок якості перспективних технічних рішень в формі чітких знань.

На основі результатів аналізу розроблені напрямки цілеспрямованої модифікації перспективних варіантів з метою підвищення якості проектних рішень.

В закінченні викладені основні теоретичні та практичні результати які одержані при роботі над дисертацією.

В додатках наведені:

- приклади використання надважких гідролітаків;
- сформульовані вимоги до перспективного надважкого гідролітака;
- приклад використання системи моделей при проектуванні надлегкого літального апарату з гнучкою обшивкою крила;
- приклад використання системи моделей при проектуванні перспективного парусного судна;
- акти результатів практичного використання, одержані в процесі роботи.

### Основні результати роботи

1. Запропоновано новий підхід до створення системи багатокритеріального вибору вигляду гідролітака, оснований на ідеї об'єднання окремих моделей в систему, що дозволяє підвищити якість проектного вирішення при скороченні часу пошуку та урахуванні суб'єктивного досвіду проектування.

2. Запропоновано склад окремих моделей системи, оснований на результатах аналізу головних етапів застосування технічного рішення, яке розглядається, що дозволяє найбільш повно урахувати всі характеристики та їх взаємозв'язок.

3. Розроблено алгоритми окремих моделей та виконана їх чисельна реалізація, яка базується на подальшій модифікації та застосуванні дискретно-чисельних методів (метод симетричних особливостей, метод кінцевих елементів, метод плоских

перерізів), що дозволяє виконати оцінку нетрадиційних проектних рішень з високою якістю вірогідності та скороченні строків.

4. Розроблено алгоритми багатокритеріальної оцінки проектних рішень в формі нечітких знань, оснований на застосуванні функцій приналежності лінгвістичних змінних, що дозволяє врахувати неформалізований досвід проектувальника з метою підвищення якості та скорочення строків пошуку оптимального технічного рішення.

5. Розроблено алгоритми вибору кращих технічних рішень, які базуються на аналізі визначеної та невизначеної складових оцінок по критеріям, що дозволяє зробити вибір на основі суб'єктивного досвіду та цілеспрямовано розробити технічні рішення наступного наближення.

6. Розроблено вигляд перспективного надважкого гідролітака, оснований на результатах роботи системи багатокритеріального вибору вигляду по окремим моделям, що дозволяє обґрунтовано проводити подальші етапи попереднього проектування.

7. Розроблено систему багатокритеріального вибору вигляду по окремим моделям та її модифікація, яка базується на урахуванні особливостей інших галузей техніки, що дозволило одержати системи багатокритеріального вигляду надлегкого літального апарату та перспективного парусного судна.

По темі дисертації опубліковано 8 наукових робіт:

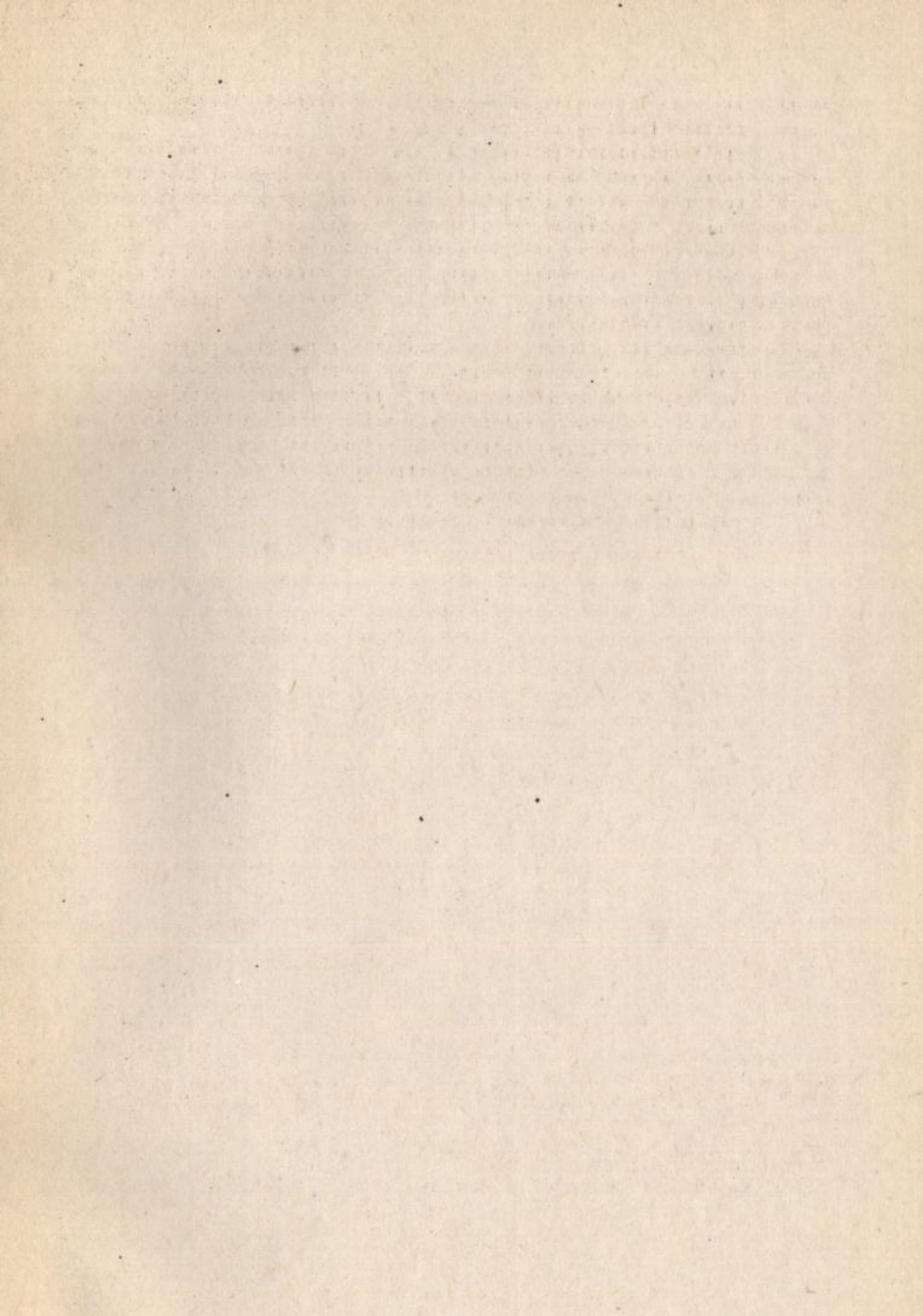
1. Днище гидросамолета, а.с. 1475058, 22.12.1988 (20.04.1987).
2. Ракетный противолодочный комплекс, а.с. 307912, 01.02.1990 (13.04.1988).
3. Плоское реактивное сопло, а.с. 323636, 01.02.1991, (30.03.1987).
4. Гидросамолет-биплан, а.с. 329394, 01.09.1988 (02.08.1988).
5. Panatov G.S., Kobzyev G.P., Kravtsov V.N. Amphibian - tendency and problems, Proceedings of Canada Air Show-90, Vancouver, 1990.
6. Panatov G.S., Kobzyev G.P. Amphibian A-40 - new step in the future of hydroaviation, Proceedings of HPMV-92, ASNE, Arlington, 1992.
7. Panatov G.S., Kobzyev G.P. Perspectives of Hydroaviation Development, Proceedings of 1st International Wingship Conference, Irkutsk, 1993.
8. Panatov G.S., Kobzyev G.P. Hydroaviation development and application, Proceedings of FAST'93 conference, Yokohama, 1993.

---

Підписано до друку 19.04.94. Формат 60x84/16. Папір друкарський.  
Офсетний друк. Ум.фарбовідб. 5. Ум.вид.арк.0,93. Обл.-вид.арк. 10.  
Тираж 100 прим. Замовлення №85-І. Ціна Вид. № 206/III.

Видавництво КІЩА.

252058. Київ-58, проспект Космонавта Комарова, 1.





462595

AB 29.766

**AB 29.766**