

УДК 656.078:629.73(045)

**МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ РОЗВИТКУ АВІАЦІЙНОЇ
ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ ТА АВІАБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ***К. В. Марінцева*, канд. економ. наук, доц., *Г. М. Юн*, д-р техн. наук, проф.Національний авіаційний університет
kristin22@ua.fm

Розглянуто єдиний дворівневий підхід до оптимізації основних проектних параметрів повітряних суден на ранніх етапах проектування. Запропоновано дворівневу процедуру зовнішнього проектування, що містить операційне та параметричне моделювання.

Ключові слова: оптимізація; повітряне судно; операційне, параметричне моделювання.

It is considered a single two-level approach to the optimization of the main aircraft design parameters on early design stage. It is proposed bimodal procedure of external designing that is including operational and parametrical aircraft modeling.

Keywords: optimization; aircraft; operational, parametrical modeling.

Вступ

Прискорення темпів оновлення повітряних суден (ПС) і збільшення їх складності стало характерним для виробів авіаційної промисловості останніх десятиліть.

Ця обставина кидає новий виклик розробникам нових зразків авіаційної техніки не тільки у зв'язку з неухильно зростаючими витратами на розробку, виготовлення й експлуатацію ПС, але й у зв'язку з нестаціонарним характером функціонування авіаційної транспортної системи (АТС), що включає проектоване ПС як складовий елемент авіакомпанії.

На функціонування АТС впливають зростання попиту на авіаційні перевезення і роботи, переважаність деяких аеропортів, насиченість мережі маршрутів існуючими типами ПС, високий рівень авіатранспортних технологій, складність організаційних форм кооперації різних галузей, що представляють замовника і розробника авіаційної техніки тощо.

Усе це вказує на доцільність програмно-цільового підходу [1] до проектування ПС, тобто підходу з погляду отримання кінцевого продукту, який, наприклад, для пасажирських ПС перебуває у сфері інтересів авіакомпаній. Тому з точки зору багатшарових ієрархічних систем [2] вигляд створюваного ПС повинен формуватися в системі замовника, тобто авіакомпаній, оскільки розробник є лише виконавцем заявлених у технічному завданні вимог. Але разом з тим замовник, на відміну від розробника, не володіє тим інструментарієм, за допомогою якого можна перевірити реалізацію того або іншого проектного варіанта.

Таким чином, проектування ПС не можна розглядати у відриві від планування розвитку відповідних галузей-споживачів продукції авіапромисловості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Окремі аспекти специфічних проблем проектування та експлуатації ПС розглянуті в роботах С. М. Єгера, В. А. Кисельова, В. Л. Колеснікова, С. В. Далецького, О. А. Ховрунової, В. П. Зінченко та ін. Так, у роботі [3] висвітлені питання теорії і практики формування, оцінки та оптимізації експлуатаційно-технічних характеристик ПС цивільної авіації на всіх етапах життєвого циклу ПС з точки зору програм технічного обслуговування та ремонту ПС. В. Л. Колесніков стверджує про важливість введення в експлуатацію літаків великої пасажиромісткості, що має усунути основну проблему цивільної авіації: зменшення пропускної спроможності аеропортів унаслідок збільшення пасажиропотоків, і присвячує роботу [4] розробці комплексу формально-евристичних методів, моделей, алгоритмів і процедур розв'язання задачі структурно-параметричного синтезу геометричного вигляду фюзеляжу літака, виявляє закономірності між параметрами і варіантами компоновки вантажних і пасажирських палуб фюзеляжу і характеристиками літака.

В дисертаційному дослідженні [5] запропонована комплексна методика формування вигляду пасажирських літаків з урахуванням обмежень щодо впливу на навколишнє середовище на основі математичної моделі.

Аналіз вищезгаданих наукових робіт показав, що остається актуальною проблема взаємозв'язку елементів АТС (авіакомпаній, аеропортів, системи управління повітряним рухом, попиту) та авіабудівної галузі з питань узгодження характеристик ПС.

Мета статті — виклад методологічного обґрунтування єдиного дворівневого підходу (ЄДП) до оптимізації основних параметрів ПС на етапі попереднього проектування.

Постановка задачі

Практичні питання, пов'язані з розробкою, створенням та експлуатацією ПС, потребують розв'язання двох задач. Перша задача пов'язана з формалізацією процесу функціонування віртуального повітряного флоту, що являє собою умовний сумарний парк ПС авіакомпаній, які потенційно можуть замовити проєктоване ПС, з побудовою математичної моделі, визначенням оптимальних режимів функціонування з метою досягнення максимальної ефективності всього процесу при фіксованих витратах. Цю задачу будемо називати задачею *зовнішнього проєктування* ПС, оскільки вона визначає коло питань, зумовлених впливом зовнішніх факторів і пов'язаних з обробкою інформації, яка надходить ззовні.

Розв'язок другої задачі стосується технічної реалізації оптимального ПС на основі методів оптимального проєктування та пов'язаний з реалізацією оптимальних характеристик і параметрів ПС як у цілому, так і його агрегатів, вузлів і деталей. Цю задачу будемо називати задачею *внутрішнього проєктування* ПС, оскільки дана задача охоплює коло питань, зумовлених внутрішніми взаємозв'язками підсистем ПС та вимог до агрегатів, вузлів і деталей, отриманих із розв'язку першої задачі.

Будучи елементом віртуального повітряного флоту, проєктоване ПС через свої техніко-економічні характеристики впливає на економічну ефективність цього флоту.

Техніко-економічні характеристики ПС, у свою чергу, є функціями параметрів ПС, які визначаються в процесі внутрішнього проєктування. Отже, виникає проблема встановлення зв'язку між вибором проєктних параметрів на етапі внутрішнього проєктування та техніко-економічних характеристик на етапі зовнішнього проєктування і оцінки їх з точки зору ефективного функціонування віртуального флоту.

Вибір проєктних параметрів ПС на основі дослідження їх безпосереднього впливу на економічну ефективність віртуального флоту практично не здійснимо через громіздкість математичної моделі та недостатню чутливість критерію ефективності до варіацій параметрів, що оптимізуються. Тому для аналізу та оцінки економічної ефективності застосування новостворюваного ПС у цивільній авіації необхідно описати його, як і інші використовувані в авіакомпаніях ПС, за допомогою середніх агрегованих показників, що формуються у сфері експлуатації парку ПС на основі техніко-економічних характеристик, які визначаються проєктними і конструкторсько-технологічними рішеннями в процесі внутрішнього проєктування.

Виділяють п'ять рівнів розв'язку задачі з розробки нового ПС [6]. У таблиці вказано, що рівень II відповідає розробці технічного завдання і техніко-економічного обґрунтування застосування ПС у цивільній авіації і разом з тим служить входом в його внутрішнє проєктування.

Таблиця 1

Стадії і рівні проєктування ПС

Стадії проєктування	Ієрархічний рівень	Зміст задачі	Відповідальні організації
Зовнішнє	I	Прогнозування пасажиропотоків на авіалініях віртуального флоту	Замовники віртуального флоту
	II	Визначення складу парку і програми виробництва нового ПС; визначення техніко-економічних характеристик нового ПС; розробка ТЗ; ТЕО доцільності застосування нового ПС цивільної авіації	Замовники віртуального флоту, розробник ПС
Внутрішнє	III	Визначення основних проєктних параметрів ПС, що задовольняють ТЗ	Розробник ПС, замовники віртуального флоту
	IV	Проєктно-конструкторські роботи з уточнення основних проєктних параметрів ПС, його конструктивно-силової і загальної компоновальної схем. Визначення структури та параметрів підсистем	Розробник ПС
	V	Конструювання вузлів і деталей та складання технічної документації для виробництва і експлуатації ПС	Розробник ПС

Під час побудови математичної моделі процесу зовнішнього проектування ПС будемо дотримуватися такої концепції: вибір техніко-економічних характеристик проектного ПС має здійснюватися в комплексі з задачами перспективного планування розвитку віртуального флоту.

Загальна модель проектування

Особливо велику роль в оптимальному проектуванні ПС відіграють математичні методи моделювання та оптимізації, які успішно застосовуються для вибору найкращих у прийнятому сенсі параметрів і характеристик ПС або його підсистем на різних стадіях проектування.

Припустимо, що проектоване ПС залежить від n варійованих параметрів, які будемо вважати точкою $x = (x_1, \dots, x_n)$ у n -вимірному просторі параметрів. Рівняння і нерівності

$$f_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, m; \quad (1)$$

$$x \geq 0, \quad (2)$$

які описують функціонування ПС, а також критерій оцінки

$$f_0(x), \quad (3)$$

теж залежать від x .

Обмеження (1) і (2) виділяють у n -вимірному просторі параметрів деяку підмножину допустимих рішень G .

Задача оптимального проектування ПС складається у відшуканні точки $x = x^*$ такої, що

$$f_0(x^*) = \min_{x \in G} f_0(x) \quad (4)$$

або визначені, що такого x не існує для $f_0(x)$ на G .

Науково-методична концепція системного підходу до зовнішнього проектування ПС полягає в тому, що модель (4) розбивається на дві взаємопов'язані моделі: операційну та параметричну. При параметричному моделюванні ПС використовується модель, яка відображає взаємодію деяких домінуючих властивостей ПС, які кількісно мають вигляд набору параметрів x_1, x_2, \dots, x_n (або X і Y). При операційному моделюванні як об'єкт виступає безпосередньо ПС. Оскільки проектоване ПС розглядається в сукупності з іншими ПС, які беруть участь у транспортній операції, природно назвати моделі цього типу операційними [7]. На параметричному рівні генерується деяка кінцева множина D проектних варіантів ПС за окремим критерієм $a(x)$, сумісним із критерієм операційної задачі. Потім з множини D за допомогою операційної моделі вибирається оптимальний варіант $x^* \in D$.

Для побудови множини D можна використувати також статистичні методи, морфологічний метод, неформальні методи, що засновані на «знанні спеціаліста» [8].

Принципи операційного моделювання

Операційна модель ПС ототожнюється з цілісною множиною ПС, пов'язаних між собою взаємними відносинами. Розглядаються такі відносини, за допомогою яких модель об'єднується в одне ціле. З математичної точки зору це відносини типу нерівностей, з фізичної — обмеження на ресурси, функціонування та технологію виконання транспортної операції.

Якщо, крім системи, обмежень обраний критерій оцінки оптимального варіанта проектного ПС, то операційну модель ПС можна записати у вигляді задачі математичного програмування:

$$\min f_0(x_1, \dots, x_n) \quad (5)$$

при обмеженнях

$$f_i(x_1, \dots, x_n), \quad i = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$x = (x_1, \dots, x_n) \in D, \quad (7)$$

де D — деяка область n -вимірного евклідового простору, яка часто ототожнюється з невід'ємним октантом простору E^n .

Принципи параметричного моделювання

Параметричне моделювання будемо розглядати як метод дослідження математичних моделей ПС, у рамках якого основні властивості цих ПС вивчаються за допомогою найбільш істотних, ключових параметрів, а також відносин, що зв'язують ці параметри.

Основні принципи параметричного моделювання можна будувати методом дедукції, на основі загальної теорії систем. Будемо виходити з абстрактного найменш обмеженого опису ПС. Потім вводимо шляхом фіксації деяких параметрів додаткові структури і розглядаємо наслідки, що випливають з цього припущення. При заданій структурі ПС параметричне моделювання полягає в тому, щоб визначити за значеннями деяких фіксованих параметрів ПС значення його інших невідомих параметрів [9]. При цьому мають дотримуватися відомі апріорі або отримані в процесі досліджень і експериментів закономірності та обмеження, що зв'язують параметри ПС. На різних стадіях проектування при різних технічних завданнях як відомі (фіксовані) можуть обиратися різні групи параметрів. Тому і загальна модель проектного ПС повинна відображати цей факт, тобто вона має будуватися без попереднього поділу параметрів на відомі і шукані, що характерно для моделей у формі задач математичного програмування.

З іншого боку ця модель після конкретизації задачі, тобто після зазначення критерію оптимальності, параметрів, що фіксуються, і тих параметрів, значення яких потрібно визначити, має давати змогу легко отримувати окремі моделі у формі задачі математичного програмування, або задачі оптимального управління, які відповідають заданій окремій задачі.

Це вимога необхідної гнучкості у постановці задачі є однією з головних особливостей параметричного моделювання.

Під час побудови параметричної моделі, в першу чергу, проводиться процедура параметризації, тобто виділення основних, найбільш істотних, проектних параметрів, набір конкретних значень яких дає достатню інформацію для прийняття рішення при подальшій реалізації проекту. Процес параметризації є дуже відповідальним. Він найважче піддається формалізації, оскільки повнота, достатність опису ПС багато в чому суб'єктивні, визначення «суттєвості» тих чи інших параметрів залежить як від стадії проектування, так і від досвіду проектувальників і замовників, наявних у них апріорних відомостей, що склалися в даній області системи наукових і технічних понять тощо. Таким чином, набір параметрів складає основу мови, на якій описується математична модель ПС.

Якщо параметризація ПС визначена, тобто параметри x_1, x_2, \dots, x_n обрані, то переходимо до наступного етапу — виписування системи основних відносин R_1, R_2, \dots, R_N , які зв'язують ці параметри.

При виборі відносин і параметрів ПС будемо виходити з таких вимог:

- параметрична модель інформаційно повинна бути сумісна з операційною, тобто вихід параметричної моделі має забезпечити вхід операційної моделі за тими елементами матриць витрат, продуктивності, частоти польотів тощо, які залежать від параметрів проектного ПС;

- параметрична модель має включати всі найбільш суттєві вимоги, що накладаються умовами проектування, виготовлення та експлуатації ПС, а також ті відносини і параметри, без яких неможливо одержати модель у замкненій формі [10];

- з урахуванням вищезазначених вимог параметрична модель повинна містити мінімальну кількість параметрів і відносин, які їх зв'язують.

Науково-методична концепція пропонованого підходу полягає в тому, що задача (4) розбивається на дві взаємопов'язані задачі: операційну та параметричну. На параметричному рівні генерується деяка кінцева множина проектних варіантів ПС за окремим критерієм, сумісним із критерієм операційної задачі. Потім з цієї множини

за допомогою операційної моделі вибирається оптимальний варіант.

Висновки

Методологія ЄДП вносить певну ясність в організаційну структуру процесу проектування і моделювання; допомагає розробнику ПС систематизувати велику частину відомих до теперішнього часу методів і алгоритмів аналізу і синтезу складних технічних систем; сприяє підвищенню якості проекту та скорочення часу його розробки; досить ефективно розв'язується ряд нових задач, що виникають на стику оптимального проектування ПС і перспективного планування господарської діяльності авіакомпаній — потенційних замовників проектного ПС.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Поспелов Г. С.* Программно-целевой подход к планированию и управлению / Г. С. Поспелов, Г. А. Ириков. — М. : Сов. радио, 1976. — 126 с.
2. *Месарович М.* Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахаара / пер. с англ.; под ред. И. Ф. Шахнова. — М. : Мир, 1973. — 343 с.
3. *Далецкий С. В.* Формирование характеристик системы технической эксплуатации воздушных судов гражданской авиации: дисс.... д-ра техн. наук : 05.22.14 / С. В. Далецкий. — М., 2002. — 466 с.
4. *Колесников В. Л.* Структурно-параметрический анализ альтернативных схем компоновки фюзеляжей самолетов большой пассажировместимости: дисс. ... к-та техн. наук : 05.07.02 / В. Л. Колесников. — М., 2003. — 163 с.
5. *Ховрунова О. А.* Методика формирования облика пассажирских самолетов с учетом ограниченный по воздействию на окружающую среду: дисс. ... к-та техн. наук: 05.07.02 / О. А. Ховрунова. — М., 2004. — 159 с.
6. *Юн Г. Н.* Внешнее проектирование воздушных судов: системный подход / Г. Н. Юн // 36. наук. пр. Проблемы системного подхода в экономике, вып. 9. — К. : НАУ, 2004. — С. 72–77.
7. *Юн Г. Н.* Об одном подходе к оптимальному проектированию пассажирских самолётов / Г. Н. Юн // ИВУЗ Авиационная техника. — 1973, № 3.
8. *Glas M., Seitz A.* Application of Agile methods in conceptual aircraft design [Електронний ресурс] // Deutscher Luft- und Raumfahrtkongress, 2012 – P. 1–11. Режим доступу: <http://www.dgfl.de/publikationen/2012/281384.pdf>
9. *Пашинцев В. И.* Оценка неизвестных параметров самолёта методом параметрического моделирования / В. И. Пашинцев, Г. Н. Юн // Техника воздушного флота. — 1974, № 5.
10. *Вычислительные методы выбора оптимальных проектных решений* / В. С. Михалевич, Н. З. Шор, Л. А. Галустова и др. — К.: Наук. думка, 1977. — 178 с.