

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ МОДЕРНІЗАЦІЇ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Вступ

У зв'язку з моральним і фізичним старінням транспортних парків (авіаційних, автомобільних, морських, та ін.) у світі та неможливістю масової закупівлі нових зразків транспортних засобів, вартість яких постійно зростає, їх модернізація в сучасних умовах є одним з основних напрямків технічної політики багатьох держав світу.

Модернізація дозволяє поліпшити технічні та якісні характеристики транспортних засобів, розширити їх можливості при витратах майже на порядок менших, ніж закупівля нової техніки, що і обумовлює актуальність модернізації.

Вирішення завдань модернізації, що актуальне для широкого класу складних технічних систем (СТС), має відповідні труднощі в зв'язку з відсутністю необхідної методичної бази [1].

Розглянемо її на прикладі обґрунтування вибору варіантів модернізації для літальних апаратів (ЛА), як представників транспортних засобів.

Одержання максимального ефекту від модернізації ЛА можливо на основі вирішення оптимізаційної задачі, суть якої полягає в обґрунтуванні оптимального складу обладнання, яке необхідно встановити на ЛА при модернізації, та визначити оптимальний обрис ЛА, що модернізується, тобто вибрати оптимальний варіант його модернізації. Цю задачу можливо віднести до класу задач синтезу СТС, яка є невід'ємним і важливим елементом етапу їх системного проектування.

Багато підходів у її рішенні базується на критеріях „ефективність (якість) – вартість” [1-4]. Однак є багато таких зразків, розробка яких повинна враховувати також і критерії безпеки при їх використанні за призначенням [5].

До них можливо віднести СТС, що застосовуються на транспорті

(авіаційному, річковому та морському, залізничному, автомобільному), у ядерній енергетиці та інших. У цьому випадку задача синтезу при проектуванні СТС повинна вирішуватися з урахуванням тріади критеріїв „ефективність (якість) – безпека – вартість”[1].

Розглянемо її вирішення стосовно авіації на прикладі задачі обґрунтування оптимального варіанту модернізації ЛА.

Постановка задачі

Задача полягає в розробці методичного підходу для вирішення задачі синтезу оптимального варіанту модернізації ЛА на етапі його проектування з урахуванням тріади критеріїв „ефективність (якість) – безпека польотів – вартість”.

Вирішення цієї задачі дозволить визначити оптимальний обрис ЛА, що модернізується, тобто вибрати оптимальний варіант його модернізації.

Визначення оптимального обрису ЛА, що модернізується, може розглядатися як елемент процесу системного проектування складної технічної системи (СТС) і, зокрема, проектування літаків.

Розв'язання задачі

Для вирішення цього завдання запропоновано методичний підхід, який представлений у вигляді алгоритму обґрунтування оптимального варіанту ЛА.

Алгоритм обґрунтування оптимального обрису ЛА, що модернізується, представлений на рис. 1.

Основними етапами алгоритму є:

Етап 1 – постановка задачі. На даному етапі уточнюються цілі, призначення і задачі, що повинні будуть вирішуватися ЛА після його модернізації, формулюються вихідні дані, умови й обмеження, що накладаються як на ЛА та його підсистеми, так і на процес його модернізації в цілому.

Етап 2 – вибір та обґрунтування критеріїв, за якими оцінюються альтернативні варіанти модернізації ЛА.

Для ЛА, що модернізується, такі критерії повинні оцінювати технічну ефективність ЛА, рівень безпеки його польотів і витрати, пов'язані з модернізацією.

В якості критеріїв технічної ефективності та безпеки польотів ЛА запропоновано для використання приріст коефіцієнта

потенційних можливостей (КПМ) ЛА та ймовірність сприятливого завершення його польоту, відповідно [1].

КПМ ЛА є відносною його характеристикою. Він характеризує технічний рівень ЛА. В якості показників технічного вдосконалення ЛА запропоновано використовувати його технічні характеристики [3,4].

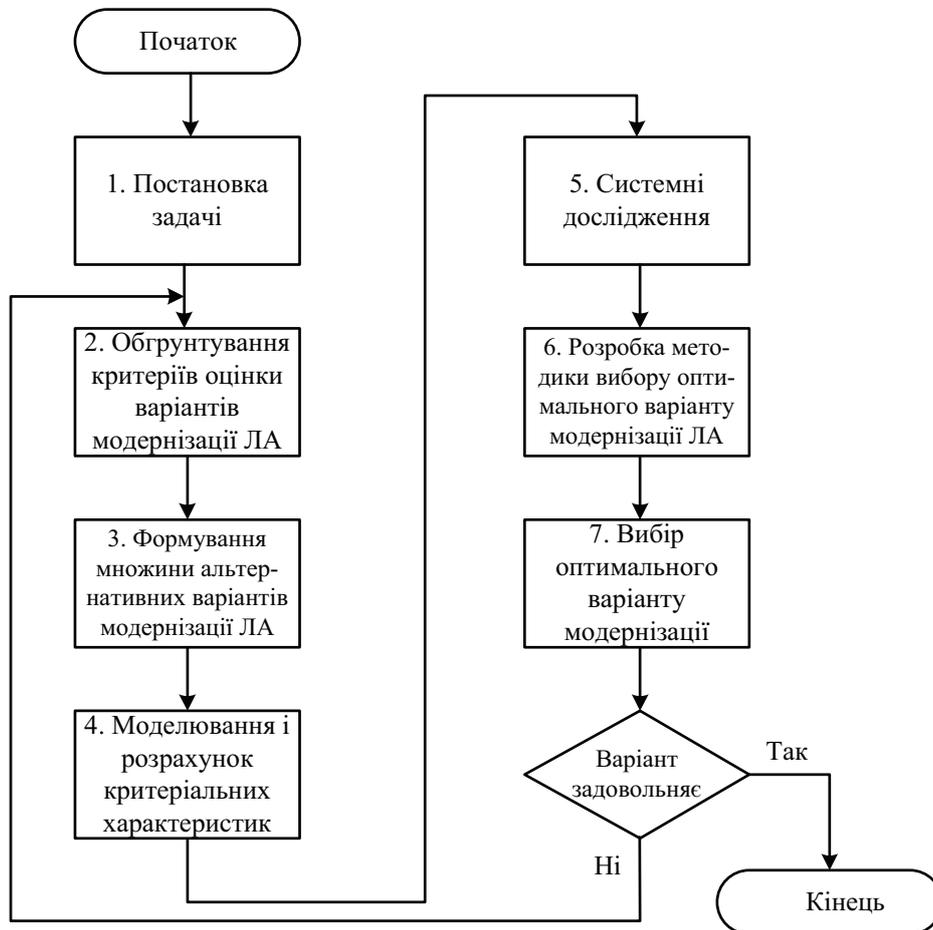


Рисунок 1 – Блок-схема алгоритму обґрунтування оптимального обриса ЛА, що модернізується

Вирішення задач оцінки якості об'єктів у кожному окремому випадку має свою певну ціль. При вирішенні питань модернізації ЛА особливо зацікавляють два з них: порівняння різних можливих варіантів модернізованих ЛА для вибору найкращого та аналіз ефективності проведених заходів щодо вдосконалення ЛА.

В якості критерія витрат, пов'язаних із модернізацією ЛА, запропоновано використовувати вартість реалізації варіанту модернізації (вартість модернізації) ЛА.

Етап 3 – формування множини альтернативних варіантів модернізації ЛА.

На цьому етапі розробляються та уточнюються: логічна схема ЛА, що модернізується (як схема складної технічної системи); схема функціонування; морфологічні блоки по підсистемам і елементам ЛА; склад його функціональних підсистем; алгоритми функціонування підсистем ЛА в цілому; проводиться попередня оцінка підсистем, можливих варіантів модернізації ЛА за структурою, інформаційному забезпеченню, керованістю; забезпечується формування множини альтернативних варіантів модернізації ЛА для подальших досліджень.

Етап 4 – моделювання та розрахунок критеріальних характеристик.

На даному етапі розробляються відповідні математичні моделі, цільові функції та визначаються значення критеріїв, необхідних для обґрунтованого вибору оптимального варіанту модернізації ЛА (КПМ, БП, С).

Етап 5 – системні дослідження: вибір методу оптимізації; визначення області ефективних варіантів модернізації.

Етап 6 – розробка методики вибору оптимального варіанту модернізації ЛА.

На цьому етапі проводиться узагальнення прийомів і методів, які використовуються на попередніх етапах, і формується методика, що визначає послідовність дій при виборі оптимального варіанта модернізації конкретного типу ЛА.

Етап 7 – вибір оптимального варіанту модернізації ЛА та прийняття остаточного рішення.

На основі аналізу альтернативних (компромісних) варіантів модернізації ЛА з урахуванням раніше не врахованих факторів проводиться аналіз на відповідність варіанту модернізованого ЛА технічному завданню.

Якщо прогнозований ЛА не відповідає технічному завданню, то з замовником погоджується питання про припустимість зниження вимог до ЛА, що модернізується, або приймається рішення щодо продовження досліджень з уточненням тих або інших його вихідних даних зі структури та складу. При цьому уточнюються обмеження та проводиться перерахування згідно з алгоритмом.

Успішне проведення модернізації ЛА можливе на основі науково - обґрунтованих оптимальних варіантів ЛА, що модернізуються.

При цьому під варіантом модернізації ЛА слід розуміти сукупність окремих пропозицій, які передбачається реалізувати на даному ЛА з метою його технічного вдосконалення.

Оптимальний варіант знаходиться згідно вирішувального правила шляхом вибору з множини альтернативних варіантів модернізації ЛА.

Альтернативні варіанти містить у собі варіанти модернізації ЛА з комплектуючим обладнанням, яке запропоновано різними фірмами й організаціями (в тому числі й закордонними), та варіанти, сформовані експертами на основі „робочої” підмножини ефективних пропозицій щодо модернізації ЛА.

При цьому під ефективними пропозиціями слід розуміти ті, що пройшли відбір за тріадою ранжованих за важливістю критеріїв (КПМ, БП, С), із загальної множини, тобто ті, що забезпечують необхідний приріст КПМ ЛА в рамках витрат (С) і не знижують рівень безпеки польотів (БП).

Критеріями переваги під час вибору оптимального варіанту модернізації ЛА є: приріст КПМ ЛА, що модернізується, ймовірність благополучне завершення його польоту та вартість варіанту модернізації одного ЛА.

Аналіз методів векторної оптимізації [6] показує, що найбільш прийнятним для практичного вирішення зазначеної задачі є метод, заснований на переведенні всіх критеріїв переваги крім одного в розряд обмежень.

При цьому здійснюється переведення зазначеної задачі в розряд однокритеріальних, що значно спрощує її вирішення.

У цьому випадку під оптимальним варіантом модернізації ЛА слід розуміти той варіант, сукупність пропозицій якого забезпечує екстремальне значення головного критерію переваги при виконанні умов, накладених на інші критерії.

Залежно від того, який критерій переваги оптимізується (приймається головним), передбачається рішення прямої (А) і зворотної (Б) задачі умовної однокритеріальної оптимізації. Тоді вони формуються в такий спосіб.

Задача А. Вибрати оптимальний варіант модернізації ЛА, виходячи з вимог максимізації приросту його коефіцієнта

потенційних можливостей за умови не перевищення заданої вартості модернізації ЛА й забезпечення необхідного рівня безпеки польотів

$$\Delta K_{\text{ПМ}}^M = \max_{s \in X} \Delta K_{\text{ПМ}}^M(s) \quad (1)$$

при $C^M(s) \leq C_{\text{ЗД}}^M$, $P_{\text{БП}}^M(s) \geq P_{\text{БП}}^{\text{ЗД}}$.

Задача Б. Вибрати оптимальний варіант модернізації ЛА, виходячи з вимог мінімізації вартості його модернізації за умови забезпечення приросту коефіцієнта потенційних можливостей ЛА, що модернізується, не нижче заданого та забезпечення необхідного рівня безпеки польотів.

$$C^M = \min_{s \in X} C^M(s) \quad (2)$$

при $\Delta K_{\text{ПМ}}^M(s) \geq \Delta K_{\text{ПМ}}^{\text{ЗД}}$, $P_{\text{БП}}^M(s) \leq P_{\text{БП}}^{\text{ЗД}}$.

У постановках задач (1) і (2) параметри мають таку інтерпретацію:

$\Delta K_{\text{ПМ}}^M, \Delta K_{\text{ПМ}}^{\text{ЗД}}$ – розрахунковий і заданий прирости коефіцієнтів потенційних можливостей ЛА, що модернізується, відповідно;

$C^M, C_{\text{ЗД}}^M$ – розрахункова та задана вартості модернізації ЛА, відповідно;

$P_{\text{БП}}^M, P_{\text{БП}}^{\text{ЗД}}$ – розрахункова та задана можливості сприятливого завершення польоту ЛА, що модернізується, відповідно;

s – варіант з множини X альтернативних варіантів модернізації ЛА.

Розглянемо основні етапи методики вибору оптимальних варіантів модернізації.

На першому етапі виконується порівняльний аналіз технічних можливостей запропонованого до модернізації ЛА та його сучасних, а також перспективних аналогів з метою виявлення можливих напрямів модернізації й окремих пропозицій за даними напрямками. На цьому ж етапі уточнюються вимоги замовника до очікуваного результату модернізації ЛА. Ці вимоги полягають у забезпеченні максимального приросту КПМ при заданій вартості та забезпеченні необхідного рівня безпеки польотів (задача А) або забезпеченні заданого приросту КПМ і необхідного рівня безпеки польотів при мінімально можливих витратах (задача Б).

Внаслідок виконання цього етапу також отримуємо значення КПМ літаків-аналогів, прийнявши за базовий ЛА, що модернізується, з метою обґрунтування його модернізації.

На другому етапі методики формується множин альтернативних варіантів модернізації ЛА, виходячи з:

1) множини варіантів модернізації ЛА, запропонованих різними фірмами й організаціями; множини окремих пропозицій щодо модернізації ЛА.

У першому випадку групою експертів із множини відомих варіантів модернізації ЛА виключаються ті, що не можуть бути реалізовані на даному ЛА за якими-небудь об'єктивними причинами (енергетичним, ваговим, габаритним, несумісності та іншим обмеженням).

У другому випадку з множини альтернативних пропозицій щодо модернізації ЛА на основі безумовних критеріїв переваги визначається перелік ефективних (негірших) пропозицій щодо модернізації ($\Delta K_{\text{ПМ}}^M$) з множини альтернативних і вартість реалізації даної пропозиції (C^M).

Застосування методу прямокутників [2] дозволяє вже на ранніх етапах формування обрису ЛА, що модернізується, відсіяти неефективні пропозиції щодо модернізації. При цьому цей метод виключає необхідність формування й оцінки заздалегідь гірших альтернативних варіантів модернізації ЛА.

На основі відібраних ефективних (негірших) пропозицій, групою експертів формуються можливі варіанти модернізації, що можуть бути реалізовані на даному ЛА.

Таким чином, результатом другого етапу даної методики є множина альтернативних варіантів модернізації ЛА, оцінених експертами за умовами можливості їхньої реалізації на даному літаку.

На третьому етапі для кожного варіанта модернізації ЛА (з множини варіантів, сформованого на попередньому етапі) необхідно зробити розрахунок критеріальних характеристик: приросту КПМ ЛА, що модернізується, можливості завершення його польоту і вартості варіанту модернізації одного ЛА.

Варіанти, що не задовольняють умови безпеки польотів (для яких рівні ймовірності успішного завершення польоту нижче заданої)

виключаються з подальшого розгляду. Проте, якщо варіант істотно підвищує технічну ефективність, але при цьому дещо знижує рівень безпеки польотів, є можливість підвищення рівня безпеки польотів до необхідного за рахунок перерозподілу надійності між відмовонебезпечними й невідмовонебезпечними елементами літакових систем за спеціальною методикою, яка наведена в [5].

На четвертому етапі проводиться вибір оптимального варіанту модернізації ЛА, виходячи з вимог замовника (залежно від того, яка з задач буде поставлена – максимізація КПМ ЛА або мінімізація вартості його модернізації).

Даний етап припускає:

- визначення припустимої області варіантів модернізації ЛА (M_D);

- визначення строго припустимої області варіантів модернізації ЛА (M_{CD}), що враховує задані умови (обмеження);

- перевірку виконаності умови паретооптимальності й визначення ефективної області варіантів модернізації ЛА (M_E);

- визначення оптимального варіанту модернізації ЛА.

Виконання п'ятого етапу методики передбачається, при необхідності, проведення поетапної модернізації ЛА, обумовленої поетапним фінансуванням реалізації Програми модернізації парку ЛА.

У цьому випадку вибір оптимального підваріанту модернізації ЛА проводиться шляхом побудови пріоритетного ряду пропозицій зі складу оптимального (компромісного) варіанту, визначеного на попередньому етапі методики.

В основі побудови зазначеного ряду лежить розподіл пропозицій за зростанням їхньої питомої вартості, яка характеризує витрати на забезпечення одиниці приросту КПМ від реалізації j -ї пропозиції щодо модернізації ЛА ($C_{удj} = C^M_j / K_{ПМ}^M_j$).

Висновок

Таким чином, розглянутий методичний підхід на основі показників якості, безпеки польотів та витрат дозволяє обґрунтувати рішення до оптимального варіанту модернізації ЛА ще на ранніх етапах його проектування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Самков О. В., Коваленко А. В. Методология обоснования вариантов модернизации парка боевых авиационных комплексов// Зб наук. работ. - К.: Научный центр ВВС ВС Украины. - Вип.6., 2003.- С.15–20.
2. Шейнин В.М., Козловский В.И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1984.– 552с.
3. Статников Р.Б., Матусов И.Б. Многокритериальное проектирование машин. – М.: Знание, 1989. –145с.
4. Попов И.А., Скворцов В.В., Мицитис А.К. Исследование и проектирование больших технических систем. – К.:КИВВС, 1995. – 252с.
5. Жулев В.И., Иванов В.С. Безопасность полетов летательных аппаратов. – М.: Транспорт, 1986.–288с.
6. Михалевич В.С., Волкович В.Л. Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 280с.