

УДК 629.7.022

Д.І. Конотоп, В.П. Зінченко

ЗАСТОСУВАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ БАЗОВОЇ МОДЕЛІ В ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДНОГО ТЕХНІЧНОГО ОБ'ЄКТА

The article reveals the parametric design of the complex technical facility as an aircraft model using the concept of implementing the basic model in the control design process. It increases the efficiency of a geometrical aircraft model at all design stages and allows ensuring the optimal control of main aircraft parameters relying on such modern computer technologies as CAD/CAM/CAE-systems. The article analyzes the existing main stages of design of the complex technical facility and focuses on the role of the control base model in this process and its significance in further design and manufacture of the complex technical facility as an example of the aircraft. The article gives the example of a control base model design of the aircraft part and use of this model to create 3D-models in subsequent stages of aircraft design utilizing CAD/CAM/CAE- system by the example of using CATIA program.

Вступ

Проектування складного технічного об'єкта (СТО) на прикладі літального апарата (ЛА) є процесом з розвинутою ієрархічною структурою, яка включає велике число елементів і внутрішніх зв'язків. Відомо, що при проектуванні широко застосовуються інформаційні технології (ІТ), які надають можливість системного підходу та оптимізації проектувальних і конструкторських рішень. Використання таких сучасних ІТ, як CAD/CAM/CAE-системи, дає змогу максимально спростити і скоротити процес проектування, вирішити ряд важливих завдань вже на ранніх етапах життєвого циклу СТО, організувати та узгодити роботу великої кількості конструкторів при створенні одного проекту, а також у цілому значно покращити характеристики СТО [1].

Проектування геометричної моделі (ГМ) ЛА потребує визначення структури компонентів конструкції, систем та обладнання, розташування систем координат; визначаються вимоги до моделей складальних одиниць, стандартних, уніфікованих, оригінальних і покупних комплектуючих виробів [2].

Основною проблемою проектування ЛА із застосуванням ІТ є обробка великих обсягів інформації та обмін даними, оскільки створення ГМ ЛА є ітераційним процесом, на кожному кроці якого відбувається уточнення складових ГМ, які створюються за участю всіх підрозділів підприємства із використанням спеціалізованих локальних інформаційних систем для проектування ЛА [3], що унеможлиблює відслідковування тотожності вихідних даних між різними етапами проектування.

Вирішити названу вище проблему можна застосуванням у процесі проектування ЛА контрольної базової моделі (КБМ), яка передбачає взаємозв'язок етапів проектування, на відміну від вузького застосування параметричної моделі [4] або загального опису побудови зовнішньої форми ЛА у вигляді поверхневої моделі [5, 6]. У зазначених працях не розглядається концепція в цілому, не описано керування складовими ЛА за допомогою параметричної моделі та зв'язок з етапами проектування.

Постановка задачі

Мета роботи – застосувати КБМ при проектуванні ГМ ЛА задля створення єдиної універсальної керуючої моделі, яку можна використовувати на всіх етапах проектування ГМ конструкції, систем та устаткування ЛА, що забезпечує тотожність вихідних даних між етапами проектування ГМ ЛА та надає можливість оптимального керування створенням ГМ ЛА за допомогою сучасних комп'ютерних інформаційних технологій.

Основні етапи проектування СТО

Відомо, що процес проектування ЛА із застосуванням ІТ охоплює чотири основні етапи [1, 3, 7, 8].

Перший етап: формулювання основних технічних рішень (ТР), що включає вимоги та рекомендації до основних технічних даних ЛА на підставі вимог технічного завдання (ТЗ).

Другий етап: розроблення моделі майстер-геометрії (ММГ) ЛА, яка формується на підставі вимог ТР, і призначена для визначення

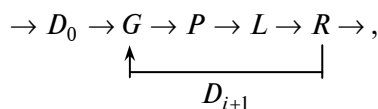
базових систем координат, теоретичних поверхонь і місць установки основних силових елементів конструкції ЛА. Модель майстер-геометрії однозначно визначає теоретичні поверхні і положення основних силових елементів конструкції планера ЛА.

Третій етап: проектування моделі розподілу об'єктів (МРО) ЛА, яка містить у собі моделі твердих тіл компонентів конструкції, систем та устаткування відповідно до ММГ ЛА. МРО включає стадії ескізного та технічного проектування. Результатом процесу проектування етапу МРО є ГМ ЛА з компоувальною ув'язкою компонентів конструкції, силової установки, систем і устаткування ЛА.

Четвертий етап: розроблення моделі повного визначення виробу (МПВВ) ЛА, що відповідає етапу робочого проектування. Основними вихідними даними для розроблення цієї моделі є МРО.

При проектуванні етапів ММГ, МРО і МПВВ використовується режим паралельного проектування, який забезпечує прямий і зворотний зв'язок поточних і попередніх етапів [9, 10]. Кінцевим результатом проектування моделі МПВВ ЛА є автоматизована підготовка робочої документації та формування програм для верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК).

Процес проектування ЛА можна подати у вигляді такої ітераційної процедури:



де D_0 – початкові дані для проектування (ТР), G – ГМ на етапі розроблення ММГ, P – ГМ на етапі розроблення МРО, L – ГМ на етапі розроблення МПВВ, R – критерій виконання ТЗ, D_{i+1} – нові (змінені) параметри, уточнення проектування, які з'являються за результатами проектування наступних етапів, після чого можуть вноситися зміни на попередніх етапах.

Етапи проектування ЛА можна об'єднати в такі глобальні групи: зовнішнє проектування (ТЗ, ТР), формування обліку (ММГ) та внутрішнє проектування (останні, більш деталізовані етапи).

Кожну з перерахованих вище ГМ можна подати у вигляді

$$G = \bigcup_{i=1}^N G_i, P = \bigcup_{i=1}^N P_i, L = \bigcup_{i=1}^N L_i,$$

де G_i, P_i, L_i – моделі-складові ГМ ЛА відповідного етапу проектування, N – кількість ГМ.

Місце контрольної базової моделі

КБМ є сукупністю вихідних даних, які є основою для розроблення ГМ ЛА на будь-якій стадії проектування, являє собою ієрархічну структуру в CAD/CAM/CAE-середовищі та є об'єднанням базової технічної інформації в електронному вигляді, на основі якої ведеться розроблення виробу (об'єкта проектування) відповідно до тематичних напрямів проекту СТО.

КБМ є керуючою структурою, яка призначена для забезпечення спадковості вихідних даних на всіх етапах проектування.

При побудові КБМ використовується геометрія, яка передається з попереднього етапу проектування – розроблення ГМ майстер-геометрії (G), і являє собою сукупність геометричних елементів, які використовуються в процесі створення геометричної моделі виробу, але не є елементами цієї моделі.

На рис. 1 показано місце, яке займає КБМ у процесі проектування СТО, що включає в себе розроблену ММГ.

КБМ – це математична модель об'єкта проектування з параметрами, при зміні яких відбувається зміна конфігурації геометричної моделі. Параметризація дає можливість за короткий проміжок часу переграти (за допомогою зміни параметрів) різноманітні конструктивні схеми та запобігти принциповим помилкам. На

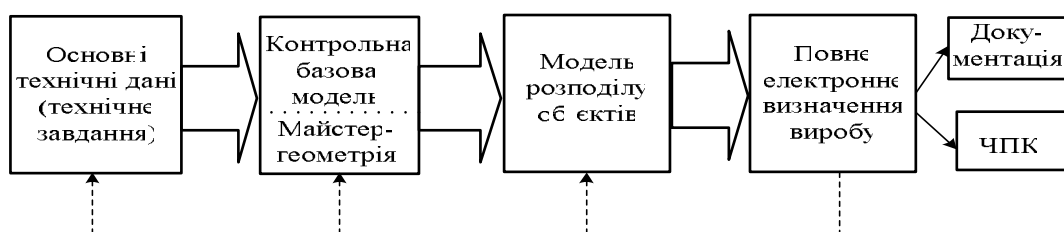


Рис. 1. Місце КБМ у процесі проектування ЛА

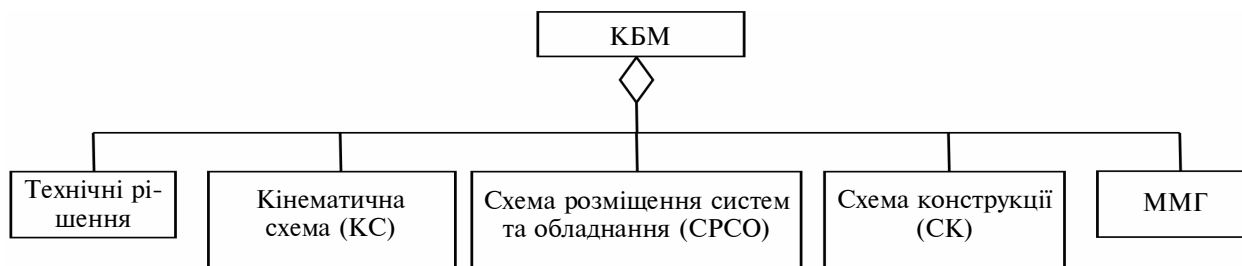


Рис. 2. Склад контрольної базової моделі

основі визначення КБМ будь-яку ГМ компонента конструкції, систем та устаткування ЛА можна подати у вигляді такої функціональної залежності:

$$P_i = L_i = f(X_k),$$

де X_k – КБМ відповідного компонента k конструкції, систем та устаткування ЛА, яку можна зобразити як

$$X_k = \bigcup_{j=1}^S x_j, \tag{1}$$

де x_j – параметр КБМ, зокрема: базові точки прив'язки, базові та напрямні лінії, площини, за необхідності – поверхні, S – кількість всіх параметрів КБМ.

Загалом на основі (1) ГМ конструкції, систем та устаткування ЛА можна зобразити таким чином:

$$m_k = f^k(x_i, i = 1...s).$$

Призначення і склад контрольної базової моделі

КБМ призначена для таких операцій: створення складу та структури виробу; завдання зовнішніх ободів і внутрішніх об'ємів агрегатів, які використовуються в процесі проектування; резервування внутрішніх об'ємів ЛА; попереднє компонування; взаємна ув'язка компонентів конструкції, систем та устаткування; попередній кінематичний аналіз рухомих частин агрегатів, ваговий аналіз та аналіз на міцність об'єкта проектування; побудова на власній основі електронного макета виробу.

Опишемо склад КБМ об'єкта проектування, використовуючи позначення мови UML у вигляді діа-

грами класів, що відображає відношення агрегації (рис. 2). Додатково КБМ може включати в себе й інші складові, які необхідні для розроблення виробу на відповідному етапі проектування.

Розроблення геометричної моделі з використанням КБМ

Велике значення має процес створення ГМ компонента конструкції, систем та устаткування ЛА, а також власне КБМ, в якій усі параметри мають бути пов'язані між собою таким

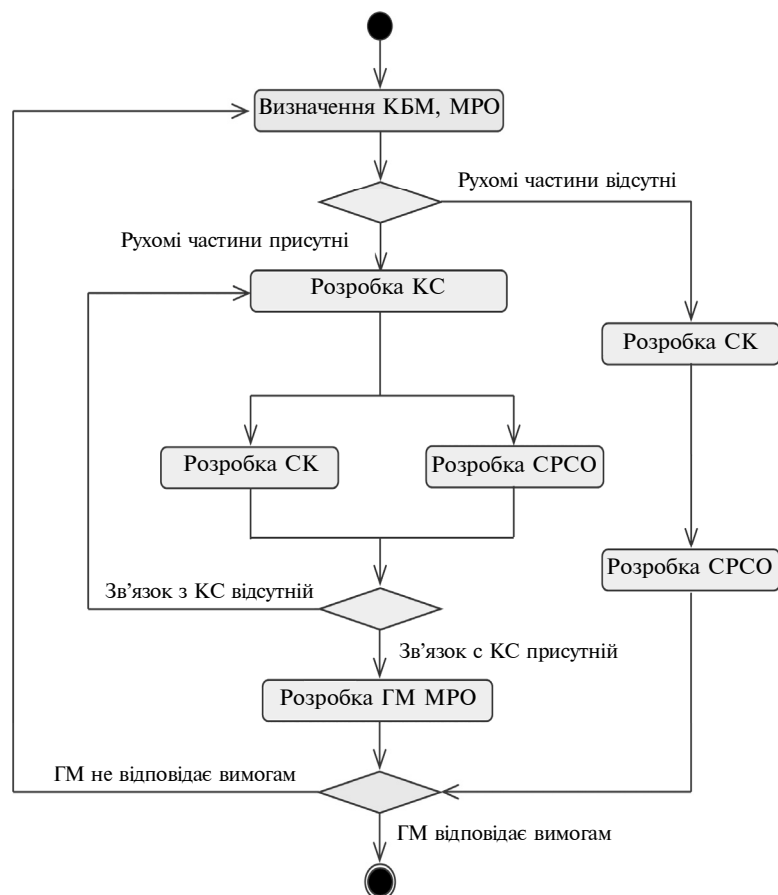


Рис. 3. Діаграма діяльності процесу розробки ГМ компонента ЛА з використанням КБМ

чином, щоб при зміні значення головного параметра не руйнувалася структура моделі, а змінювалися лише її габарити.

Процес розробки ГМ компонента конструкції, систем та устаткування ЛА з використанням КБМ відображено, використовуючи позначення мови UML, у вигляді діаграми діяльності на рис. 3.

Реалізація контрольної базової моделі рампи ЛА

Підхід до проектування СТО з використанням КБМ можна реалізувати у різних CAD/CAM/CAE-середовищах. У статті розглянута ГМ ЛА з використанням КБМ у середовищі CATIA V5.

На рис. 4 зображено КБМ рампи ЛА, на якій показано розміщення основних параметрів рампи ЛА. Ці параметри зав'язані за існуючу ММГ ЛА (теоретична площина підлоги, площина симетрії ЛА, площина відповідного

шпангоута рампи ЛА та теоретичний контур ЛА). Тобто необхідно спочатку вибрати параметри, які будуть основними, до яких будуть прив'язані усі точки та криві КБМ. Наприклад, при побудові КБМ рампи ЛА координати всіх точок по вісі x прив'язувалися до площин шпангоутів ЛА, а координати по вісям y і z – до теоретичної площини підлоги, площини симетрії та теоретичного контуру ЛА. Таким чином, при зміні значень цих параметрів ММГ можна отримувати різні розміри КБМ без руйнування її структури.

При зміні будь-яких даних параметрів у ММГ ЛА відбувається попередження в деталі КБМ про ці зміни в ММГ, і при оновленні цієї деталі відповідні зміни в КБМ вступають у дію.

Деталь КБМ, розробленої в CAD/CAM/CAE-середовищі CATIA V5, включає в себе такі складові: посилання на геометричні об'єкти ММГ або інші складові КБМ, які використовуються при побудові цієї моделі; допоміжну геометрію, необхідну для побудови КБМ; базові точки прив'язки; базові лінії; напрямні лінії; площини, перетини площин або поверхонь; допустимі розміри довжин і кутів; варіанти положень елементів агрегатів, побудованих на основі посилань на геометричні об'єкти ММГ або інших складових КБМ, які використовуються при побудові цієї моделі, та на допоміжну геометрію, необхідну при побудові КБМ.

На рис. 5 показана ГМ рампи ЛА на етапі МРО у вигляді твердотільної моделі, яка описує зовнішню форму і розміри, дає змогу оцінити її взаємодію з елементами оточення та служить для прийняття рішень при подальшому розробленні виробу. В цій моделі показано розміщення основних складових даної частини ЛА, зокрема: настилу підлоги; обшивки рампи; поперечних ребер рампи (шпангоутів). Ця модель дає можливість у першому наближенні провести розрахунки маси та координат центра мас рампи ЛА. Також можливе вико-

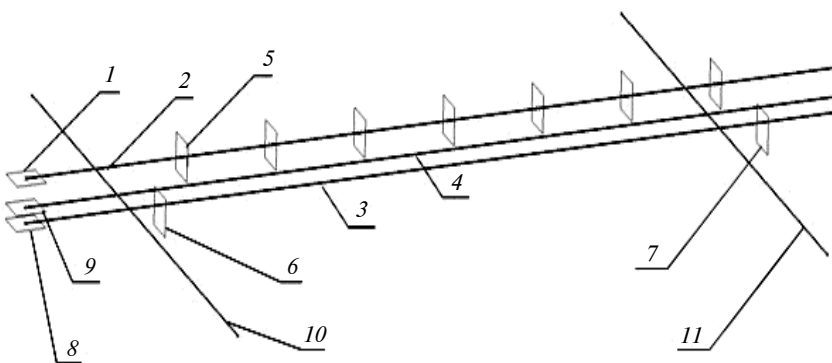


Рис. 4. КБМ рампи ЛА: 1 – площина балки; 2 – теоретична лінія балки; 3 – теоретична лінія настилу рампи; 4 – теоретична лінія осей замків; 5 – площини рампи (шпангоути ЛА); 6, 7 – площини обрізки рампи; 8 – площина настилу підлоги рампи; 9 – площина замків рампи; 10 – вісь обертання кронштейнів рампи; 11 – вісь обертання трапа

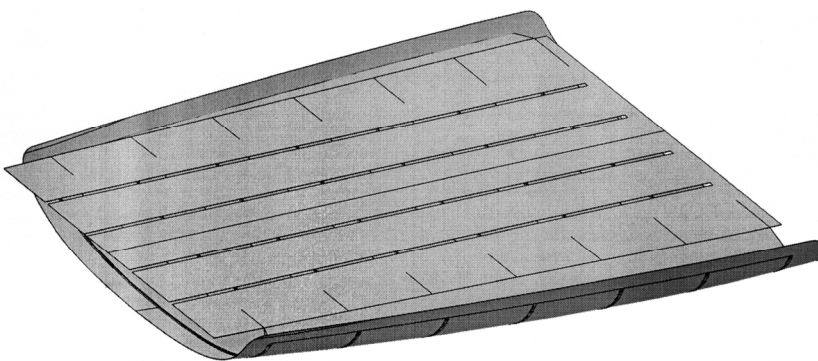


Рис. 5. Геометрична модель рампи ЛА на етапі розроблення моделі розподілу об'єктів

ристання цієї моделі як на етапі МРО для узгодження з проектуванням систем та устаткування і проведення їх компонування, так і на етапі МПВВ для подальшого уточнення даної моделі [11].

Усі параметри ГМ рампи ЛА пов'язані зі створеною КБМ, яка відображена в дереві спроектованої деталі рампи. При зміні будь-яких параметрів даних частин у деталі КБМ ЛА відбувається попередження в деталі МРО про дані зміни в КБМ, і при оновленні цієї деталі відповідні зміни в МРО вступають у дію.

Геометрична модель включає в себе: посилення на геометричні об'єкти КБМ та на геометричні об'єкти частин інших твердотільних деталей (площини, ребра, криві, вісі тощо), які використовуються при побудові цієї моделі; допоміжну геометрію, необхідну для побудови моделі; основні елементи побудови тіла деталі, а також саме тіло деталі.

Після формування деталі вона буде займати своє відповідне місце в дереві проекту ЛА [12], створеному в CAD/CAM/CAE-середовищі CATIA V5 на етапі розроблення МРО, та входить до складу відповідної складальної одиниці всередині даного дерева, яке відображає складові конструкції, систем та обладнання літального апарата, співвідношення між цими складовими частинами та умови їх входження до дерева проекту.

Надалі розглянуту ГМ можна використовувати на етапі розроблення МПВВ, що забезпечує зв'язок між усіма етапами проектування (при зміні будь-яких параметрів, які надходять з етапів зовнішнього проектування та формування обліку, відповідні зміни відбуваються при внутрішньому проектуванні).

Висновки

У статті показано застосування КБМ у процесі проектування геометричної моделі ЛА в CAD/CAM/CAE-середовищі. Проаналізовано існуючі основні етапи проектування ЛА та описано місце, яке займає КБМ у цьому процесі, вказано на значення цієї моделі при подальшому проектуванні та виробництві ЛА.

Наведені у статті дослідження розкривають, що застосування КБМ при проектуванні ГМ ЛА дає змогу оперативно реагувати на зміни в структурі ГМ ЛА, відслідковувати прийняті в ході проектування технічні розв'язки на всіх етапах проектування за допомогою керування геометричними параметрами всередині КБМ. Це показано на прикладі проектування рампи ЛА на етапі розроблення моделі розподілу об'єктів.

Застосування КБМ забезпечує скорочення строків проектування, зниження собівартості розроблення ЛА й підвищення його якості, оптимізує прийняття конструкторських рішень при узгодженні компонентів конструкції, систем і обладнання ЛА вже на початкових етапах проектування за рахунок використання єдиної універсальної керуючої моделі, за зміни будь-яких параметрів якої відповідні зміни оперативно вступають у дію на всіх етапах проектування ГМ ЛА (тому немає необхідності постійно перероблювати ГМ ЛА залежно від зміни обстановки та зміни початкових даних).

Надалі планується використовувати онтологічні бази знань для керування та обробки інформації про основні параметри й обмеження в КБМ ЛА, що дасть змогу зобразити дані процесу проектування у вигляді впорядкованої структури з чітко визначеними зв'язками.

1. *Информационные технологии в наукоемком машиностроении: Компьютерное обеспечение индустриального бизнеса / Под общ. ред. А.Г. Братухина. – К.: Техніка, 2001. – 728 с.*
2. *Зинченко В.П., Конотоп Д.І. Використання сучасних комп'ютерних інформаційних технологій при проектуванні складного технічного об'єкта // Тези доп. Міжнар. конф. "Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія". – Вінниця, 2010. – С. 50–51.*
3. *Борисов В.В. Зинченко В.П. Проблемы информационной технологии обмена данными в системе автоматизированного проектирования сложного технического объекта // Тезисы докл. XXXIII Междунар. симпозиума "Вопросы оптимизации вычислений". – Кацивели: ИК им. В.М. Глушкова НАН Украины, 2007. – С. 38–39.*
4. *D. Mun et al., "Protection of intellectual property based on a skeleton model in product design collaboration", Computer-Aided Design, vol. 41, pp. 641–648, 2009.*
5. *R. Smith et al. "Rapid Airplane Parametric Input Design", in Proc. of the 12th AIAA Computational Fluid Dynamics Conference, San Diego, California, June 1995, p. 95–1687.*
6. *M. Athanasopoulos et al., "Parametric design of aircraft geometry using partial differential equations", Adv. Eng. Software, vol. 40, pp. 479–486, 2009.*
7. *Егер С.М. Проектирование самолетов. – М.: Машиностроение, 1983. – 616 с.*

8. *Зінченко В.П.* Інформаційна технологія проектних досліджень складних технічних об'єктів // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2000. – № 4. – С. 32–42.
9. *Зінченко В.П., Борисов В.В., Абрамов Ю.В.* Электронный документооборот: средства и методы // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – Харьков: Гос. аэрокосм. ун-т "ХАИ", 2001. – Вып. 10. – С. 165–177.
10. *Зінченко В.П., Абрамов Ю.В., Борисов В.В.* Средства и методы управления проектной информацией при создании сложных технических объектов // Там же. – Вып. 9. – С. 17–29.
11. *Зінченко В.П., Конотоп Д.І., Борисов В.В.* Проблеми оптимізації компоновки складного технічного об'єкта // Збір. доп. II Наук. конференції магістрів та аспірантів, присвяченої 20-річчю факультету прикладної математики, 14–16 квітня 2010 р., Київ. – К.: НТУУ "КПІ", ФПМ, 2010. – С. 64–67.
12. *Інформаційні технології моделювання компоновки складного технічного об'єкта / В.П. Зінченко, Д.І. Конотоп, О.П. Сидоренко та ін. // Інформаційні системи, механіка та керування. – 2011. – № 6. – С. 27–35.*

Рекомендована Радою
факультету авіаційних і космічних
систем НТУУ "КПІ"

Надійшла до редакції
21 березня 2012 року