

## **КОМП'ЮТЕРНЕ МОДУЛЬНЕ КОМБІНАТОРНО-ВАРІАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ЛІТАКА**

### **Вступ**

У наш час достатньо актуальні питання подальшого удосконалення конструкції літальних апаратів, процесів їх виготовлення та експлуатації. Доволі потужними засобами розв'язання окреслених задач є комп'ютерні інформаційні технології, які для створення авіаційної продукції застосовуються у вигляді систем автоматизованого проектування (САПР). У світі для останніх використовується аббревіатура CAD/CAM/CAE (Computer-Aided Design / Computer-Aided Manufacturing / Computer-Aided Engineering), що додатково підкреслює інтегрований характер опрацювання літальних апаратів на протязі всього їх життєвого циклу.

Незважаючи на наявні великі та різноманітні можливості зазначених програмних пакетів, має місце нагальна потреба в адаптації універсальних машинобудівних САПР, таких як SolidWorks, Pro/Engineer, CATIA тощо, до особливостей моделювання конкретних технічних об'єктів, зокрема авіаційних. Даний шлях спирається на створення нових методів, способів, прийомів та алгоритмів і дозволяє досягати кращих результатів у розробці складної продукції. Один із таких напрямків – це *структурно-параметричне геометричне моделювання*, основні теоретичні положення якого викладено в публікації [1], а приклади практичної реалізації – у виданні [2]. Матеріали останнього дослідження показують, що конструювання літаків, із метою успішного проведення їх комплексної оптимізації, вимагає чергового поліпшення існуючих підходів до автоматизованого проектування. Окреслені аспекти проаналізовано в дослідженні [3], де запропоновано методологію *комп'ютерного комбінаторно-варіаційного формоутворення*, яка базується на використанні *уніфікованих, спеціалізованих та інтегрованих геометричних модулів*. При цьому головна ідея полягає не тільки в раціональному обмеженні значного числа можливих проектних структурно-параметричних варіантів розроблюваних технічних об'єктів, а також у зменшенні їх собівартості за рахунок широкого застосування стандартизованих деталей і складаних одиниць, освоєних типових технологічних процесів їх виготовлення та експлуатації. Про доцільність модульного підходу в авіації свідчить, наприклад, публікація [4],

присвячена конструюванню безпілотних літальних апаратів. Теоретичні основи комп'ютерного геометричного моделювання на засадах комбінаторно-варіаційної методології з використанням кривих другого порядку розглянуто у працях [5, 6].

### Постановка задачі

Метою даної статті є формоутворення типових елементів конструктивно-силового набору планера літака запропонованим методом модульного комп'ютерного комбінаторно-варіаційного моделювання.

### Опис об'єкта досліджень та наявних засобів для вирішення поставлених питань

Як програмну складову інструментарію для виконання сформульованого завдання обрано пакет SolidWorks. Зауважимо, що в якості засобів реалізації розробленого підходу можна застосувати довільну з наведених вище САПР.

Планер сучасного літака складається з силових елементів (обшивок, стрингерів, поясів лонжеронів та нервюр, стінок, стояків і т. д.), для яких у багатьох випадках вихідними матеріалами постають листи металу або пресовані профілі з нього. Як правило, комп'ютерне конструювання зазначених елементів починається з формування їх поперечних перерізів, декотрі найбільш поширені з яких зображено на рис. 1. При цьому варіанти 1, 3, 5, 7 є гнутими з листа, а решта – пресованими профілями.

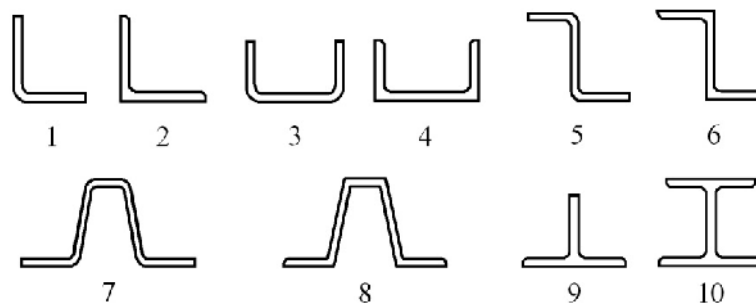


Рис. 1. Деякі види поперечних перерізів конструктивно-силових елементів планера літака:

- 1, 2 – куткові; 3, 4 – швелерні; 5, 6 – z-подібні;  
7, 8 – трапецієподібні; 9 – таврові; 10 – двотаврові

Для прикладу на рис. 2 наведено геометричні моделі гнутого куткового та двотаврового пресованого поперечних перерізів типових елементів конструкції літака. Між показаними параметрами ( $b$ ,  $h$ ,  $r$ ,  $s$  та ін.) існують певні аналітичні залежності, що дозволяють для даних профілів розраховувати всі необхідні величини їх форми й розмірів згідно з вихідними значеннями кількох із них та автоматично перебудовувати

потрібним чином зазначені перерізи. У цьому полягає суть комп'ютерного параметричного геометричного моделювання, яке є поширеним та продуктивним засобом сучасних САПР щодо автоматизованої розробки різноманітних технічних об'єктів, у тому числі й конструкції літаків.

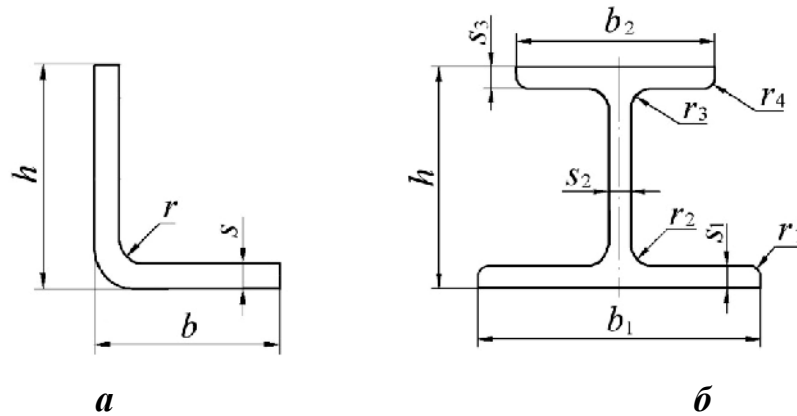


Рис. 2. Геометричні параметри поперечних перерізів конструктивно-силових елементів:  
 а – гнутого куткового профілю;  
 б – пресованого двотаврового профілю

Однак, як видно з рис. 1, відповідно до описаного підходу для кожної з приведених фігур треба створити власну параметричну геометричну модель, яка за конкретними вихідними даними користувача генеруватиме необхідні йому варіанти даного виду поперечного перерізу. Оскільки опрацьовувані елементи конструкції літака, з метою забезпечення їх якісного проектування, повинні завжди аналізуватись якомога ґрунтовніше та в максимально широкому аспекті, то, згідно зі структурно-параметричною методологією [1, 2], подані на рис. 1 різновиди фігур інтегруються в єдину систему, показану на рис. 3.



Рис. 3. Структурно-параметрична модель  $P$  поперечних перерізів конструктивно-силових елементів:  
 $p_1 \dots p_{10}$  – параметричні геометричні моделі зображених на рис. 1 фігур

Таким чином, дана модель  $P$  поєднує всю множину розглянутих параметричних описів

$$P = (p_i)_1^{10} \quad (1)$$

і здатна, на основі виконання належних інтегрованих оптимізаційних розрахунків, формувати певний кортеж раціональних поперечних перерізів

$$P = (P_j)_1^{Np}. \quad (2)$$

Проілюструємо далі запропонований модульний підхід до комп'ютерного комбінаторно-варіаційного моделювання на прикладі використання дуг кривих другого порядку у векторній раціональній параметричній формі

$$\mathbf{r}(u) = \frac{(1-u)^2 \mathbf{r}_0 + w2u(1-u)\mathbf{r}_1 + u^2 \mathbf{r}_2}{(1-u)^2 + w2u(1-u) + u^2}, \quad (3)$$

де  $\mathbf{r}_0, \mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2$  – радіуси-вектори опорних точок;

$w \geq 0$  – ваговий коефіцієнт;

$u \in [0, 1]$  – параметр.

### **Комп'ютерне модульне комбінаторно-варіаційне моделювання елементів конструкції літака**

Аналіз наведених на рис. 1 і рис. 2 зображень свідчить, що дані профілі утворюються як певні комбінації відрізків прямих і дуг кіл. Оскільки ці лінії відповідають застосуванню у виразі (3) значень  $w=0$  та  $w=\cos(\alpha/2)$ , де  $\alpha$  – кутова величина дуги, то кожний з поперечних перерізів  $p_i$  у формулі (1) варто розглядати як кортеж

$$p_i = (\mathbf{r}_{ik}(u_{ik}))_1^{Np_i}, \quad (4)$$

де  $\mathbf{r}_{ik}(u_{ik})$  – крива другого порядку вигляду (3).

На підставі показаної на рис. 3 структурно-параметричної моделі  $P$  та співвідношень (1) ... (4) може бути створений спеціалізований комп'ютерний геометричний модуль для побудови поперечних перерізів силових елементів конструкції літака. Його основною відмінністю та перевагою по відношенню до зазначеної моделі є відсутність безпосереднього повторювання блоків для топологічно однакових частин розроблюваних профілів за рахунок використання, як уніфікованих початкових елементів, кривих другого порядку (3).

Подальша спеціалізація формоутворення спрямована на підвищення продуктивності процесів автоматизованого проектування шляхом суттєвого зменшення вихідних даних, що вводяться користувачем САПР для проведення потрібного ґрунтового аналізу різноманітних варіантів силових елементів створюваної конструкції. Типові прийоми при цьому спираються на властивості виразу (3) щодо можливості виродження в точку модельованої дуги, коли  $\mathbf{r}_0=\mathbf{r}_2$ , або, як граничний випадок, у характеристичну її ламану. У такому разі, наприклад, подані на рис. 1 гнуті та пресовані профілі визначаються однаковим числом дуг кортежів (4). Доцільно широко застосовувати симетрію досліджуваних обводів. Так, зокрема, за допомогою відповідної операції швелерний переріз будується

на базі куткового, трапецієподібний профіль – на основі z-подібного, двотавровий – таврового.

Завершальний етап автоматизованого геометричного моделювання деталей полягає у формуванні їх комп'ютерних твердотільних моделей (рис. 4, *a ... e*) переміщенням одержаних поперечних перерізів уздовж потрібних напрямних ліній.

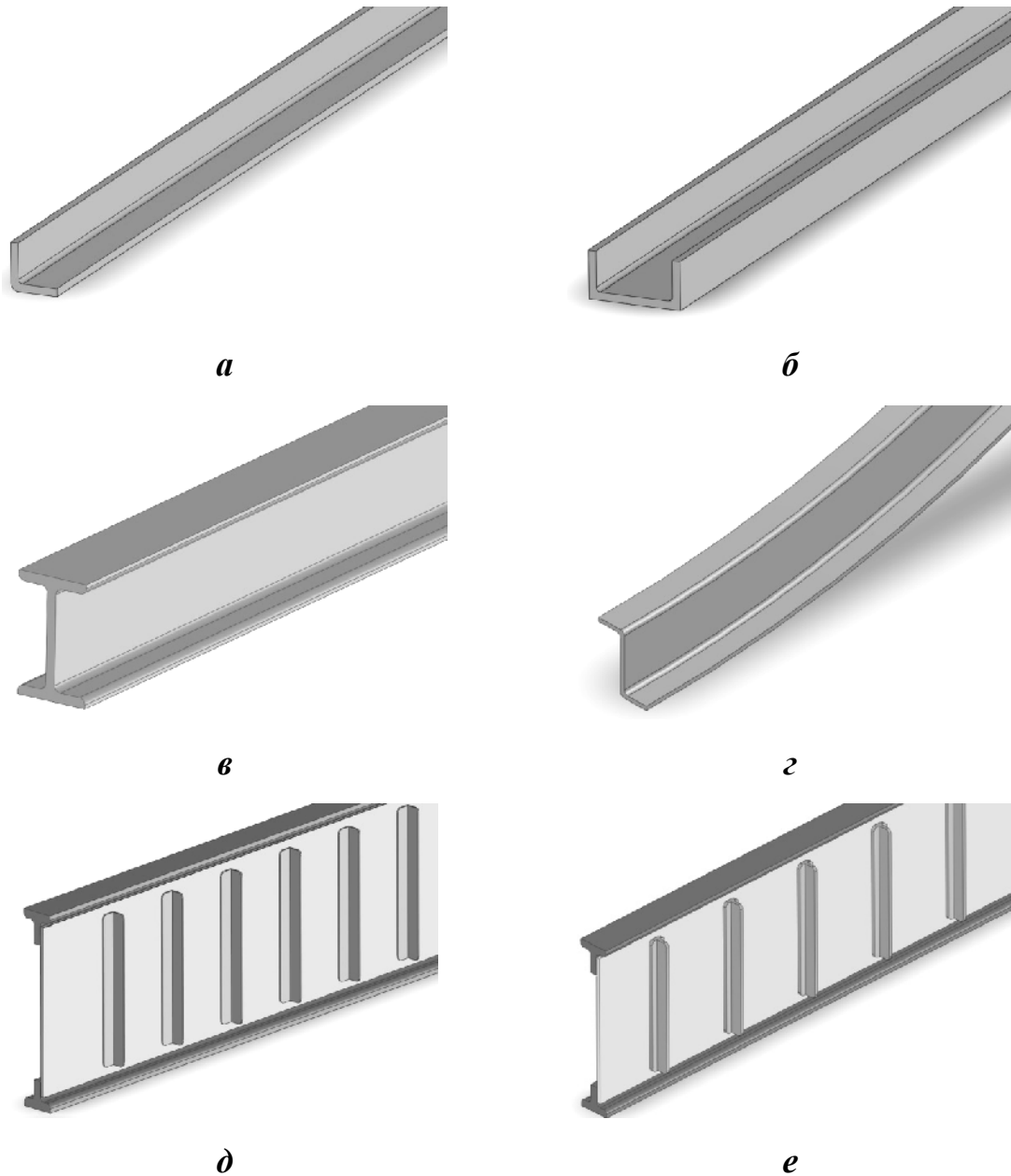


Рис. 4. Приклади комп'ютерних моделей конструкції:

*a* – кутковий стрингер; *б* – швелерний стрингер; *в* – балка;  
*г* – шпангоут; *д* – лонжерон із кутковими стояками;  
*е* – лонжерон із тавровими стояками

На рис. 4, д і рис. 4, е подано варіанти моделі лонжерона, що відрізняються розмірами своїх елементів (пояси і стінка) та їх формою й кількістю (стояки). Важлива особливість запропонованого підходу полягає

в можливості поєднання геометричних побудов з ітераційним пошуком оптимальних параметрів конструкції з точки зору таких дисциплін як міцність, технологія виробництва, експлуатація тощо. Це питання успішно вирішується шляхом створення відповідних інтегрованих модулів.

Напрацьовані прийоми проектування можуть бути впроваджені, крім SolidWorks, наприклад, у таких САПР як CATIA, NX, Pro/Engineer тощо. Головною вимогою є наявність у зазначених пакетах програмних засобів для реалізації користувачем своїх власних алгоритмів моделювання.

Також поданий підхід варто поширити на конструювання й інших, крім розглянутих, деталей і вузлів літальних апаратів.

## **Висновки**

Основні переваги проаналізованого комбінаторно-варіаційного моделювання полягають у тому, що зазначені методи, способи та прийоми дозволяють комплексно підвищувати ефективність автоматизованого проектування конструкції літака за рахунок формування раціональної множини різновидів її компонентів, широкого застосування уніфікованих деталей і вузлів, освоєних технологічних процесів їх виготовлення та експлуатації тощо.

Перспективними напрямками подальшого розвитку запропонованої методології можна вважати використання для комп'ютерного формоутворення кривих і поверхонь вищого ніж другий порядку та дослідження комбінаторно-варіаційного моделювання більш складних об'єктів конструкції авіаційної техніки.

## **Список використаної літератури**

1. *Ванін В. В.* Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання [Текст]/ В. В. Ванін, Г. А. Вірченко // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Вип. 23. – Харків: ХДУХТ, 2009. – С. 42–48.
2. *Вірченко Г. А.* Деякі питання комп'ютерного структурно-параметричного конструювання вузлів літака [Текст]/ Г. А. Вірченко // Інформаційні системи, механіка та керування. – Вип. 1. – Київ: НТУУ “КПІ”, 2008. – С. 70–76.
3. *Ванін В. В.* Оптимальне варіантне геометричне моделювання технічних об'єктів [Текст]/ В. В. Ванін, В. Г. Вірченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 89. – К.: КНУБА, 2012. – С. 22–27.
4. *Мариношенко О. П.* Модульна конструкція для серії безпілотних літальних апаратів [Текст]/ О. П. Мариношенко, Р. В. Карнаушенко // VIII міжнародна науково-технічна конференція “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної

- техніки”: Збірник доповідей. Частина 3. Конструювання авіаційно-космічної техніки. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – С. 138–142.
5. *Вірченко В. Г.* Комбінаторно-варіаційне моделювання обводів із використанням кривих другого порядку [Текст]/ В. Г. Вірченко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 91. – К.: КНУБА, 2013. – С. 46–52.
  6. *Вірченко В. Г.* Твердотільне геометричне комп’ютерне моделювання об’єктів машинобудування на засадах комбінаторно-варіаційного підходу [Текст]/ В. Г. Вірченко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Т. 54. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – С. 27-31.