

doi: 10.32620/oikit.2024.101.06

УДК 629.331.067(047.31).629.3.017

І. М. Тараненко, Н. В. Кобріна,
М. Є. Тараненко, О. М. Застела

Модель управління якістю технічної підготовки виготовлення корпусів БПЛА

*Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»*

У теперішній час виготовлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) поза серійним виробництвом є актуальною задачею. Існує потреба у виготовленні таких апаратів різних схем, розмірів та цільового призначення. Більш складними у виготовленні несучої конструкції є БПЛА літакоподібного типу (моно- та біплани). Як правило, вони є апаратами одноразового використання. Тому такі апарати повинні мати просту конструкцію, бути достатньо легкими, мати мінімальну радіопомітність та низку інших властивостей, які необхідні для кластичних літальних апаратів (ЛА). Матеріалами, які у великому ступені відповідають зазначеним вимогам, є композити (скло- та вуглепластики). Але для цих матеріалів необхідно використовувати особливі конструктивно-технологічні рішення (КТР) при технічній підготовці їх виробництва (ТПВ) (виготовлення аеродинамічних поверхонь, складанні та з'єднанні деталей, агрегатів у конструкцію). Відомо достатньо багато таких рішень, але їх оптимальний вибір та сполучення окремих КТР у суттєво залежить від призначення БПЛА, об'єму випуску, умов виробництва та, у цілому, від цілей виробництва. Метою цієї роботи є розробка математичної моделі управління якістю технічної підготовки виробництва БПЛА. Саме якість технічної підготовки виробництва визначає якість продукції, що виробляється, та ефект самого виробництва.

У роботі приведено загальну схему процесів виготовлення БПЛА. Відзначено нерозривний зв'язок конструкторської та технологічної частин технічної підготовки. Показано багатоітераційний процес розробки оптимальних процесів виробництва, які залежать від різних його цілей. Системність, компактність та обґрунтованість рішень обумовлені врахуванням багатьох властивостей техпроцесів та умов їх реалізації. Достатньо обґрунтовано урахування можливостей при комп'ютерному проектуванні. Для його реалізації необхідна комплексна модель управління якістю технічної підготовки. Умовам комплексності та обґрунтованості відповідає кваліметричний підхід до синтезу моделі.

У якості прикладу багатоваріантності розглянуто КТР виготовлення крила (несучих поверхонь) та їх з'єднання з фюзеляжем.

Оригінальною особливістю запропонованої матмоделі є використання у якості керуючого параметру коефіцієнта вагомості тієї чи іншої властивості КТР, які залежать від поставленої цілі.

Описано механізм викривлення заданих аеродинамічних форм несучих поверхонь, які виконані з полімерних композитів, при їх підкріпленні різними конструктивними елементами (лонжеронами, стрингерами, фтінгами). Такі остаткові деформації призводять до погіршення аеродинамічної якості та міцності.

Наукова новизна роботи полягає у синтезі матмоделі управління якістю технічної підготовки виготовлення БПЛА. Практична цінність роботи обумовлена наведеною низкою прикладів варіантів КТР різного рівня.

Ключові слова: технічна підготовка виробництва, матмодель управління якістю виготовлення БПЛА, композитні матеріали, з'єднання метал-композит.

Вступ

У сучасних умовах використання та виробництво БПЛА актуально. Для різних цілей використовуються різні їх типи: літако- та вертольотоподібного типів, роторні та інші. Для достатньо довгих перельотів (100 км і більше) з корисним

навантаженням більш 10 кг в основному використовуються БПЛА літакоподібного типу. Це пояснюється тим, що такі конструкції мають високу аеродинамічну якість. Її можна забезпечити більш довершеною формою ЛА, точністю аеродинамічних поверхонь та мінімальною масою конструкції ЛА за рахунок використання композитних матеріалів. Економічно виправдане використання БПЛА може бути досягнуто шляхом оптимізації технічної підготовки їх виготовлення та управління цим процесом, включаючи зменшення часу та витрат на конструкторську та технологічну підготовку виробництва, зменшення витрат на використовувані ресурси та комплектуючи вироби високої якості.

Для успішного управління якістю технічної підготовки у сучасних умовах використовуються комп'ютерні технології проектування, як конструкції так і технології виготовлення. Процес одержання оптимального КТР є ітераційним. Для його реалізації необхідно використовувати математичні моделі управління якістю об'єкта.

Обґрунтуванню варіанту такої моделі присвячена стаття. В основі цієї моделі лежить кваліметричний підхід, як найбільш системний по відношенню до властивостей КТР. Управляючими параметрами в моделі є коефіцієнти вагомості кількісних показників властивостей, які є пріоритетними для заданих цілей використання БПЛА.

1. Місце технічної підготовки при виготовленні БПЛА

У сучасних умовах дуже широко розвивається виробництво різних типів БПЛА. При цьому використовується велике різноманіття схем ЛА, типорозмірів при невеликих партіях випуску. На рис. 1 показано загальний вигляд БПЛА літакоподібного типу та перспективні моделі. Характерною особливістю таких конструкцій є велика кількість з'єднань (роз'ємних чи нероз'ємних) композитних поверхонь деталей та агрегатів з аналогічними або металевими поверхнями. Відомо [1], що надійне виконання таких з'єднань являє собою доволі складну задачу.

Основними особливостями цього виробництва є:

- примітивізація конструкції та технології виробництва основної маси апаратів, що виготовляються, з причини їх одноразового використання;
- досить низький технічний рівень проектувальників та виробників;
- обмеженість використовуваних ресурсів – фінансових, матеріальних, технічних;
- інші особливості, які визначаються сучасним станом.

На фоні цих особливостей виникла необхідність уточнювати місце та зміст ТПВ для оптимізації якості підготовчих процесів та якості виготовлення виробів. Необхідно підкреслити, що останнє у великому ступені визначається першим. Термін "якість" тут використовується у широкому сенсі, як найбільш складна властивість процесів та продукції. Якість включає в себе більш часткові властивості призначення, надійності, витрат часу та ресурсів на підготовку, проведення та експлуатацію відповідних процесів та продукції, економічні властивості та низку інших властивостей.

Також слід відзначити, що кількісні показники властивостей якості знаходяться у прямій залежності від цілей виробництва.

Загальна структура процесів виготовлення БПЛА показана на рис. 2.



а



б



в

Рис. 1. Приклади форм БПЛА:
а – монопланного типу [2]; б – біпланного типу з вертикальним зльотом, посадкою та горизонтальним польотом [3]; в – трьохфузеляжний БПЛА біпланного типу великої ватажопід'ємності або великої дальності польоту [4]



Рис. 2. Загальна схема процесів виготовлення БПЛА

Послідовність процесів проектування та виготовлення БПЛА передбачає проведення декількох різнохарактерних процесів послідовно, паралельно та їх ітераційну взаємодію. Одним із перших процесів є вибір схеми БПЛА в залежності від призначення. Після цього формулюється технічне завдання на характеристики об'єкту та його виготовлення. Далі проводиться процес технічної підготовки виробництва, який складається з двох підпроцесів – конструкторської та технологічної підготовки виробництва. Обидва ці підпроцеси повинні бути безперервно пов'язані один з іншим. Цей зв'язок являє собою відпрацювання конструкції на технологічність (низка цих процесів обведена на рис. 2 пунктирною лінією). Мета відпрацювання на технологічність – виявлення оптимального

рішення за визначеними показниками, які залежать від поставлених цілей виготовлення продукції. Таких цілей може бути декілька: мінімальні витрати ресурсів, наприклад, часу або енергії; мінімізація часу та витрат на технологічну підготовку виробництва або використовуваних виробничих площ, обладнання, кваліфікації або ресурсу виконавців; можливість максимальної локалізації виробництва та інші.

Для обґрунтованої та об'єктивної відповіді на питання про оптимізацію при мінімальних витратах часу необхідно використовувати визначений кількісний показник. Таким показником може бути комплексний показник якості процесу підготовки виготовлення. Його кількісне значення визначається залежністю (1).

Після відповіді на питання про відповідність розроблених оптимальних конструктивно-технологічних рішень технічному завданню приймається рішення про виготовлення.

Після виготовлення перших зразків (партії) проводять контроль якості виробу та самого процесу виготовлення. При відповідності завданню виробництво продовжується. При неналежній якості визначають причини невідповідності (конструкторського або технологічного характеру) та приймають міри для усунення причин невідповідності.

2. Визначення комплексного кількісного показника якості управління технічної підготовки виготовлення БПЛА

Якість – це найбільш загальна всеосяжна властивість продукції та процесів. Ця властивість узагальнює усі властивості, які актуальні для споживача. Кількісно якість можливо оцінити за допомогою залежності [5]:

$$K_{\text{комп}} = \varphi(K_i; g; K_{\text{еф}}) \quad (1)$$

де φ – функція згортки, яка виражена різними функціями: середньоарифметичною, середньгеометричною або іншими видами математичних залежностей;

K_i – кількісний показник якості властивості, яка входить до комплексу, що розглядається на визначеному рівні, наприклад, груповому;

$K_{\text{еф}}$ – коефіцієнт збереження ефективності, який відображає особливості виявлення властивостей у момент їх реалізації.

Одиничний відносний показник якості властивості можна записати у вигляді функції

$$K_i = \frac{Q_i - Q_i^{\text{бр}}}{Q_i^{\text{ет}} - Q_i^{\text{бр}}} \quad (2)$$

де Q – абсолютний показник якості властивості, що має відповідну розмірність; індекси “і”, “бр” та “ет” відповідають фактичному показнику якості і-ї властивості; “бр” – бракувальному значенню показника і-ї властивості; “ет” – еталонному значенню (кращому з відомих).

У випадку відсутності значення $Q_i^{\text{бр}}$ можна приймати

$$K_i = Q_i / Q_i^{\text{ет}}. \quad (3)$$

Фізичний сенс цієї формули полягає в тому, що проявляється ступінь досконалості (якості) розглянутої властивості. Це відношення конкретних значень

кількісних параметрів, що визначають розглянуті властивості (фактичні та еталонні).

Для управління якістю процесів, що входять до системи, при врахуванні пріоритетів різних цілей можна записати залежність $K_{\text{комп}}$ як функцію від параметрів, що задаються:

$$K_{\text{комп}} = \varphi(g_1 K_1 t_1^{-1} + g_2 K_2 t_2^{-1} + \dots + g_n K_n t_n^{-1}), \quad (4)$$

де $g_{1,2,\dots,n}$ – коефіцієнт пріоритетності властивості в залежності від поставленої мети; $\sum g_i = 0 \dots 1, 0$;

K_i – показник якості відповідної властивості;

t_i – час (тривалість) досягнення заданого значення K_i для кожної властивості, яка реалізується при технічній підготовці.

Обов'язкова умова при ТПВ $K_{\text{комп}} \rightarrow \max$ серед розглянутих варіантів КТР.

Коефіцієнт вагомості g_i є керуючим параметром, він обирається в залежності від мети виробництва.

При виготовленні БПЛА у якості пріоритетних можна розглядати декілька властивостей: призначення, надійності, тривалості та вартості виробничого циклу та технологічної підготовки виробництва, вартість ресурсів, що використовуються та інші. Зазвичай при оптимізації процесів розглядається 3...5 актуальних властивостей.

3. Варіанти КТР з'єднань агрегатів та деталей БПЛА між собою

Якість КТР з'єднань агрегатів та деталей багато в чому визначає повну реалізацію записаних вище властивостей. Для прикладу на рис. 3 показано варіанти КТР з'єднань агрегатів та деталей між собою. Для наочності обрано БПЛА літакоподібного типу (моно- або біплан), до складу якого входить велика кількість з'єднань композитних деталей. При цьому припускається використання обшивок, стоек, нервюру з мінімальними товщинами поверхонь (0,5...2,0 мм).

А це обумовлює мінімальну жорсткість елементів у трансверсальному напрямку, тобто велику вірогідність виникнення остаточних деформацій під дією усадкових напружень (адгезійних або термічних). Наявність таких деформацій може призводити до порушення роботоспроможності всього механізму або до значного зниження якості (аеродинамічного, призначення, надійності та інших).

На рис. 3, а показано типові місця з'єднань плоскої поверхні (консолі крила) з фюзеляжем, з'єднання консолей між собою або вузлами підвіски. КТР таких місць з'єднання можуть бути різними:

- місця стикування консолей та фюзеляжу можуть виконуватися крізь кореневу нервюру з вбудованими елементами для механічного (болтового) кріплення;

- кріплення обшивки до лонжерону з елементами «вухо-вилка», які можуть бути композитними або металевими;

- при використанні крила зі змінюваним кутом атаки у місці з'єднання встановлюються опори приводу відхилення;

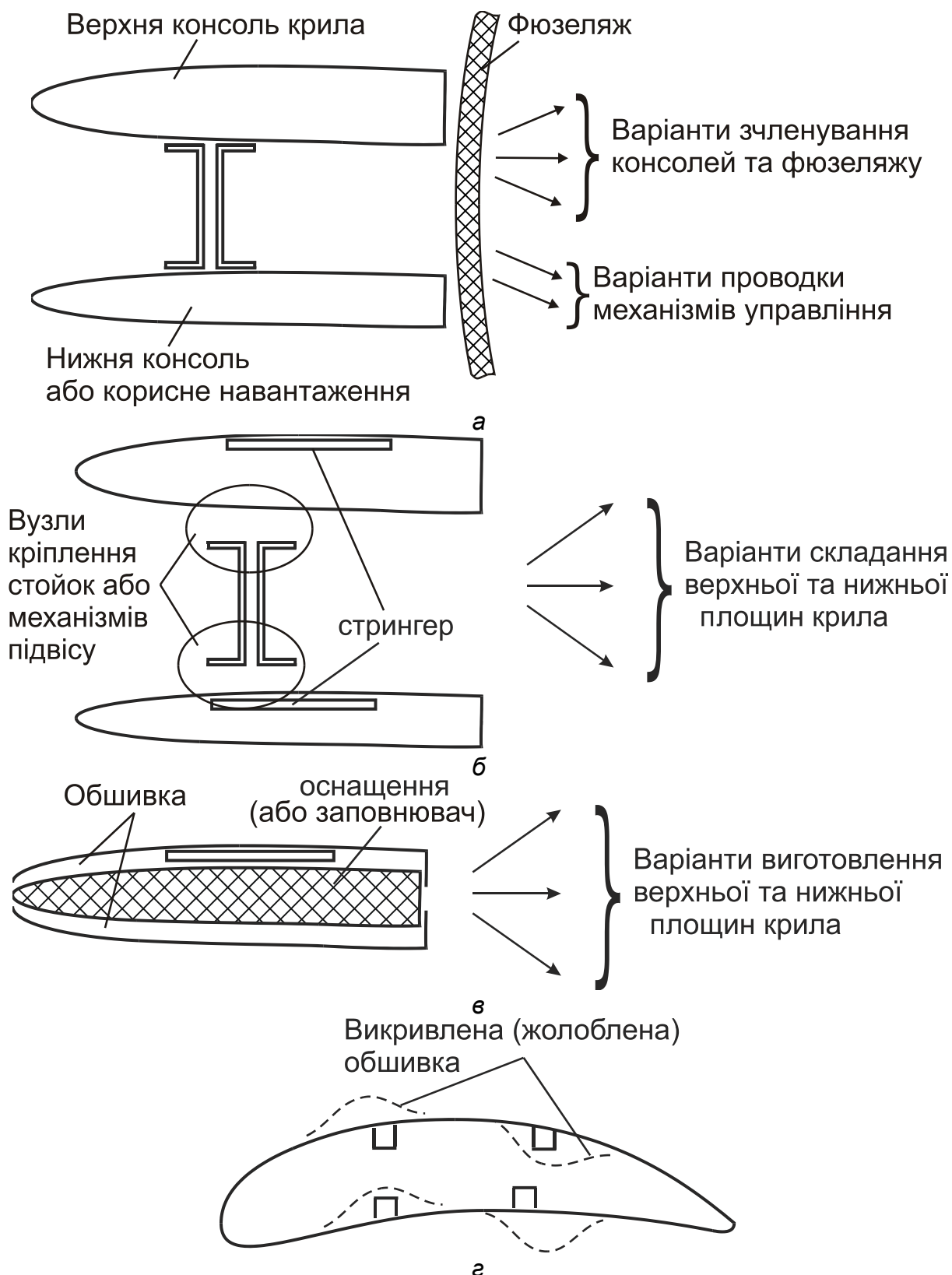


Рис. 3. Варіанти КТР місць з'єднання агрегатів між собою або підвішування корисного навантаження (а), деталей, вузлів та обшивки (б), варіанти зчленування елементів обшивки (в), варіанти деформації обшивки під дією остаточних деформацій стрингерів (г)

– різноманітного типу стойки або елементи підвісу з'єднуються з обшивкою за рахунок клейового з'єднання або з використанням трансверсальних кріпильних елементів (з'єднання типу метало-композитних гетерогенних зв'язків) [6].

– інші варіанти з'єднань.

Приданню крилу необхідної жорсткості забезпечується за рахунок заповнення внутрішнього об'єму пінним заповнювачем у комбінації зі стрингерами у більш навантажених перерізах (рис. 3, б, в).

При виборі варіантів виготовлення обшивки у першому наближенні можна розглядати такі варіанти:

– намотування обшивки на профільовану оправку або пінний заповнювач (без наступного складання/розбирання);

– викладка нижньої та верхньої поверхонь на профільоване оснащення, з'єднання їх з підкріплюючими елементами (стрингерами, фітінгами) та наступне з'єднання цих обшивок склеюванням (рис. 2, в).

При виборі того чи іншого варіанту виготовлення крила необхідно враховувати таку властивість техпроцесу, як можливість його членування на більш малорозмірні операції для виготовлення двох поверхонь одночасно на декількох робочих місцях та наступного складання.

Перевагою першого варіанту є спрощення техпроцесу складання та використання спрощеного технологічного оснащення. Недолік – складнощі більш повного використання властивостей призначення усієї конструкції в плані управління польотом та повного використання міцності. Інший варіант є протилежним за перевагами та недоліками властивостей.

Слід також відзначити, що при виборі варіанту КТР при ТПВ слід враховувати необхідність використання спеціалізованого або універсального оснащення та пристосувань.

На рис. 3, а показано можливий стан викривлення тонкої обшивки крила внаслідок дії остаточних деформацій підсилювального профілю. Викривлення форми підсилювального профілю обумовлені усадковими та термічними напруженнями, а також адгезійним характером з'єднання профілів з обшивкою.

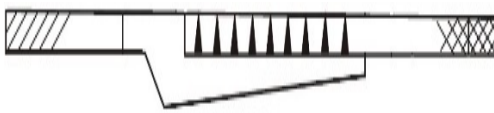

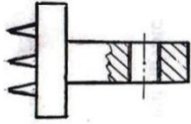
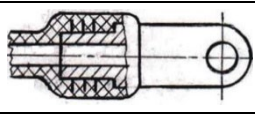
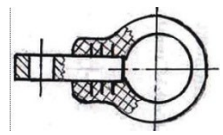


Деякі варіанти КТР з'єднань композитних деталей між собою та металевими закінцівками показано в табл. 1.

4. Алгоритм поводження з матмоделлю управління якістю

Як правило, проектування та виготовлення багатьох конструкцій починається з вивчення та аналізу прототипів. Для них можливо легко встановити, у рамках набору розглянутих властивостей, комплексні та групові показники якості властивостей. Значення цих показників можливо прийняти як базові.

Коефіцієнти вагомості, які входять у залежність (4), є керуючими параметрами матмоделі. Задаючи їх значення (у межах $0 \dots 1,0$) та за допомогою експертів, розподіляють ці значення за групами властивостей за умови, що $\sum g_i = 0 \dots 1,0$, та визначають нове значення $K_{\text{комп}}$. При цьому підбором значень g_i намагаються досягти максимуму значень $K_{\text{комп}}$. Достатньо докладно ця процедура описана у роботі [7].

Варіанти КТР з'єднань "метал-композит" та "композит-композит"

Призначення	Ескіз	Переваги та недоліки
1. З'єднання композитної обшивки з металевою закінцівкою (до вузла з'єднання крила та фюзеляжу)		1. Можливість точного стикування/розстикування опори з фюзеляжем. 2. Підвищена міцність з'єднання за рахунок його ширини. 3. Наявність металевого елемента (маса, необхідність точної обробки параметру з'єднання).
2. Точкові анкерні болтові з'єднання «метал+композит»		1. Міцність та підвищена надійність. 2. Можливість стикування/розстикування. 3. Додаткова маса.
3. З'єднання «вилка», «метал+композит»		
4. З'єднання закінцівки з композитом		
5. Елемент з'єднання циліндричних поверхонь, що перетинаються		
6. Пластиковий хомут		Можливість настроювання діаметру
7. Підсилене з'єднання двох композитних елементів	 <p>Стрічка з зубцями типу канцелярської кнопки</p>	1. Менша передача деформацій жолоблення. 2. З'єднання нероз'ємне.

При відсутності відповідних прототипних значень використовується експертний метод підбору групових та часткових показників якості розглянутих властивостей.

5. Опис механізму викривлення аеродинамічного профілю при полімеризації та склеюванні. Оцінка величини викривлення.

Суттєвість та небезпека для роботоспроможності БПЛА викривлення аеродинамічних форм при використанні композитів можна оцінити за наступною розрахунковою схемою.

Спочатку оцінюється розрахунковим шляхом необхідна товщина обшивок за перерізами, а потім визначаються деформації, що викривляють форму. При цьому слід враховувати, що визначення зовнішніх перерізальних сил та крутних моментів необхідно знаходити на основі експериментальних даних, які можна отримати за результатами випробувань у аеродинамічних трубах. Але ця процедура дуже трудомістка та потребує багато часу. Можливо керуватися припущенням про те, що розподіл цих параметрів вздовж розмаху крила для БПЛА подібно існуючим даним для повнорозмірних літаків. А кількісні значення зовнішніх навантажень залежать від розмірів ЛА та швидкості польоту.

Згідно до рекомендацій [8] для визначення товщин обшивки та стінок легких літаків (де кількість шарів прогнозується бути не дуже великою) може бути використаний наступний алгоритм.

Потрібна товщина, що задовольняють умовам міцності та конструктивно-технологічним обмеженням визначається за формулою:

$$\delta = 2\delta_0 \left[\text{int} \left(\frac{q_\Sigma}{2\delta_0 F_{45}} \right) + 1 \right], \quad (5)$$

де δ_0 – товщина моношару композиту;

F_{45} – міцність пакету композиту обшивки та стінок (кути укладання шарів $\pm 45^\circ$ частіше обирають з умови максимальної жорсткості та міцності пакету КМ при зсуві)

int – математичний оператор виділення цілої частини виразу (без дробової);

q_Σ – сумарний потік дотичних зусиль (за модулем).

Сумарний потік дотичних зусиль у загальному вигляді розраховується за формулою

$$q_\Sigma = q_p + \sum q_{0i}, \quad (6)$$

де q_p – потік дотичних зусиль в умовно “розрізаному” (у носку та задній стінці) контурі (такий метод використовується для розкриття статичної невизначеності у багатозамкнутих тонкостінних профілях);

q_{0i} – потоки дотичних зусиль у кожному i -му контурі замкнутого профілю (рис. 4).

Для ділянок верхньої, нижньої частин контуру та вертикальних стінок (позначені символами “в”, “н” та “с” відповідно) значення потоків у формулі (6) приймають значення:

$$\begin{aligned}
 q_{B1} &= q_{01}; \quad q_{Bi} = q_{0i} + q_{pBi}, \quad i=2, \dots, n \\
 q_{H1} &= q_{B1} = q_{01}; \quad q_{Hi} = q_{0i} + q_{pHi}, \quad i=2, \dots, n \\
 q_{ci} &= q_{0i} - q_{0,i+1}, \quad i=1, \dots, n-1; \\
 q_{cn} &= q_{0n} - q_{pcn}.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

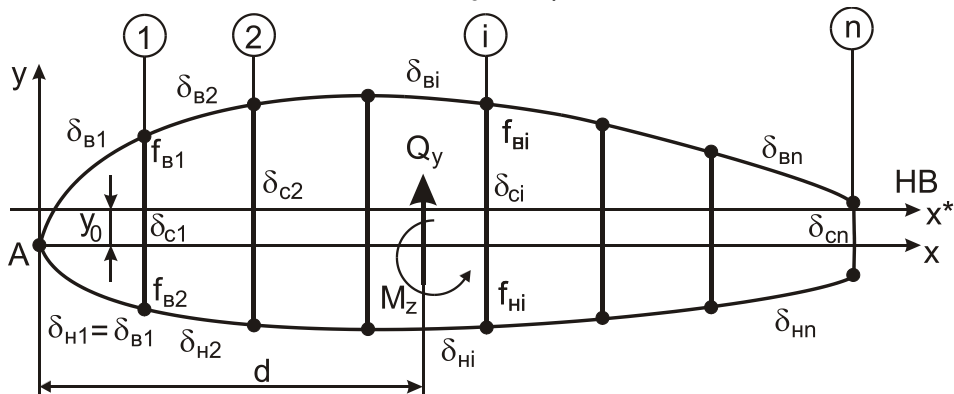


Рис. 4. Схема багатозамкнутого тонкостінного профілю: NB – нейтральна вісь контуру; Q_y – перерізувальна сила, що прикладена до контуру у обраному перерізі; M_z – крутний момент, який визначається після продування профілю у трубі або з довідників

Слід зазначити, що усі потоки визначаються з урахуванням алгебраїчної суми (тобто зі своїми знаками “+” або “-”).

$$\begin{aligned}
 q_{pBi} &= -\frac{Q_y}{(EI)} \sum_{i=1}^{i-1} f_{Bi} E_{Bi} (y_{Bi} - y_0), \quad i=2, \dots, n; \\
 q_{pcn} &= -\frac{Q_y}{(EI)} \sum_{i=1}^n f_{Bi} E_{Bi} (y_{Bi} - y_0); \\
 q_{pHi} &= \frac{Q_y}{(EI)} \sum_{i=1}^{i-1} f_{Hi} E_{Hi} (y_{Hi} - y_0), \quad i=2, \dots, n.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

У формулах (8) Q_y – зовнішня перерізувальна сила, яка визначається за результатами експериментів або з довідників.

Тут згінна жорсткість (EI) визначається за загальною формулою

$$(EI) = \sum_{i=1}^n \left[f_{Bi} E_{Bi} (y_{Bi} - y_0)^2 + f_{Hi} E_{Hi} (y_{Hi} - y_0)^2 \right].
 \tag{9}$$

Товщини рекомендується задавати, починаючи з декількох шарів (з урахуванням вимоги симетричної термостабільної структури), та шляхом декількох ітерацій досягти певного співпадіння між заданими та розрахованими значеннями товщин [8].

Потік зусиль, який виникає від крутного моменту, визначається за методикою, приведеною у [8].

Виходячи зі статистичних даних, достатньо часто товщини обшивок несучих поверхонь БПЛА знаходяться у межах 0,5...1,0 мм (у навантажених зонах вони досягають значень 2,0...2,5 мм). Такі значення товщин обшивок призводять до висновку про те, що вони являють собою дуже тонкі оболонки, які

легко піддаються небажаним викривленням (деформаціям) форми. Механізм виникнення таких викривлень викладено далі.

Пояснити механізми деформації крила БПЛА у горизонтальній та вертикальній площинах можна, виходячи з наступного аналізу.

Згідно теорії тонкостінних стержнів, які навантажені позацентровою силою, у їх перерізах виникають додаткові згинальні моменти у вертикальній та горизонтальній площинах (рис. 5). Ці моменти призводять до виникнення переміщення точок перерізу у горизонтальній площині (на величину $\xi(x)$), вертикальній площині (на величину $\eta(x)$) та повороту перерізу на кут $\theta(x)$. Оцінити величини цих переміщень можливо за формулами (10).

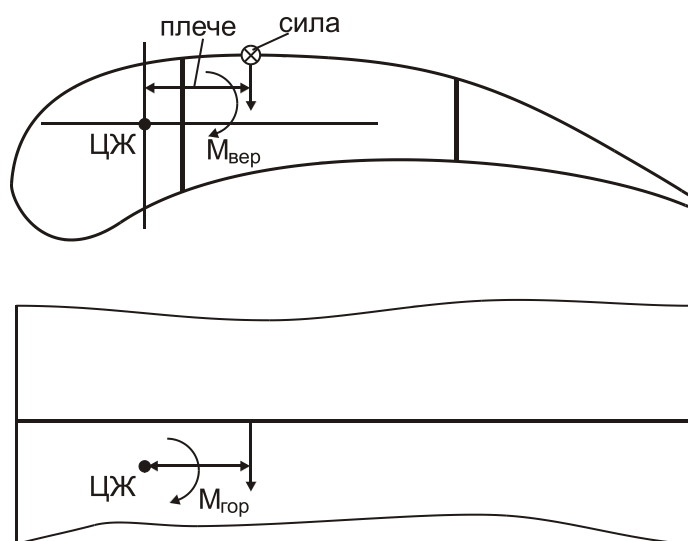


Рис. 5. Схема виникнення додаткових згинальних моментів:
ЦЖ – центр жорсткості перерізу

$$\eta(x) = \frac{M_{\text{вер}} \cdot x^2}{2(EI)_{z_1}}, \quad \xi(x) = \frac{M_{\text{гор}} \cdot x^2}{2(EI)_{y_1}}, \quad \theta(x) = \frac{B_0}{k^2(EI)_{\omega}} \left(\frac{\text{chkx}}{\text{chl}} - 1 \right), \quad (10)$$

де x – позадвжняя вісь (вздвж розмаху крила);

EI – механічні осьові моменти інерції розгляданого перерізу відносно головних центральних механічних осей перерізу z_1, y_1 ;

B_0 – бімомент, що виникає у перерізі;

k – коефіцієнт піддатливості з'єднувального шару між складовими частками профілю, які склеюються;

$(EI)_{\omega}$ – механічний секторіальний момент інерції перерізу;

ω – секторіальна координата;

l – довжина профілю (розмах крила).

Теоретичні розрахунки та експериментальні вимірювання аналогічних профілів дозволяють спрогнозувати, що величина переміщень розглянутого профілю можуть досягати декількох міліметрів, а кут закручування – до $5 \dots 10^\circ$, що вплине певним чином на аеродинамічні характеристики крила.

Такі значення деформацій достатньо помітно впливають на аеродинамічну якість всієї конструкції. Тому постає задача зменшення впливу технологічної спадковості підкріплювальних елементів (лонжеронів, стрингерів) на

викривлення форми несучих поверхонь.

У значній мірі зменшити небажані викривлення та паралельно підвищити надійність з'єднання «метал+композит» та «композит+композит» можна, використовуючи трансверсальні кріпильні зв'язки (див. табл. 1). За рахунок пружної деформації мікроелементів кріплення знижуються зусилля та моменти, які сприймаються оболонкою.

6. Недоліки запропонованих рішень

Використання проміжних елементів у місцях з'єднань ускладнює конструкцію БПЛА. Але використання методу корекції формувального оснащення для зниження технологічної спадковості більш значно ускладнює технологічний процес формування підкріплювальних елементів.

Достатньо широкий діапазон оцінки небажаних деформацій обумовлений великою трудомісткістю підрахунку аналітичних значень цих параметрів для узагальнених варіантів конструкції БПЛА.

Висновки

1. У роботі при урахуванні актуальності удосконалення виробництва БПЛА синтезована математична модель управління якості технічної підготовки виготовлення таких апаратів. Вихідним параметром матмоделі є комплексний показник якості виробу. Вхідними параметрами є кількісні показники властивостей літального апарату та його виготовлення. Клерувальними параметрами є коефіцієнти вагомості властивостей різного рівня (одиничні, групові та інші). Їх вибір визначається цілями виробництва.

2. Показано, що якість конструкції виробу та його виробництва залежить від якості конструктивно-технологічних рішень з'єднань «метал+композит» та «композит+композит». У конструкціях сучасних та перспективних БПЛА таких з'єднань достатньо багато та вони потребують високої надійності. Показано варіанти можливих КТР з'єднань.

3. Аеродинамічна якість всього апарату багато в чому залежить від точності форм поверхонь, що обтикаються. Показано механізм можливого викривлення форм поверхонь у зонах з'єднань та шляхи зниження викривлень.

Список літератури

1. Карпов, Я. С. Соединения деталей и агрегатов из композиционных материалов [Текст] / Я. С. Карпов. – Харьков : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2006. – 359 с. ISBN 966-662-133-9.

2. У турецькій компанії Baykar заявили, коли в Україні добудують завод з виробництва БПЛА [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://nv.ua/ukraine/events/bayraktar-stroitelstvo-zavoda-po-proizvodstvu-bpla-v-ukraine-zavershat-v-2025-godu-50461177.html> (29.10.2024).

3. TU Delft's Newest Tailsitter Drone Is Designed for Outback Delivery A hybrid delta biplane design results in efficiency, range, and pinpoint landings [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://spectrum.ieee.org/tu-delft-tailsitter> (29.10.2024).

4. ApusDuo – безпілотний біплан-псевдосупутник із сонячними панелями [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://itc.ua/blogi/apusduo-bespilotnyi-y-biplan-psevdosputnik-s-solnechnyimi-panelyami/> (29.10.2024).

5. Azgaldov, Garry G. The ABC of Qualimetry Toolkit for measuring the immeasurable / Garry G. Azgaldov, Alexander V. Kostin, Alvaro E. Padilla Omiste, Ridero, 2015, 167 p, ISBN 978-5-4474-2248-6, http://www.labrate.ru/kostin/20150831_the_abc_of_qualimetry-text-CC-BY-SA.pdf.

6. Тараненко, І. М. Розрахунково-аналітичне порівняння показників властивостей варіантів конструктивно-технологічних рішень трансверсальних з'єднань “метал + композит” [Текст] / І. М. Тараненко // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології : зб. наук. праць, – Харків : Нац. аерокосм ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2022, № 96, – С. 4–23, doi:10.32620/oikit.2022.96.01.

7. Тараненко, М. Є. Кваліметрична модель управління якістю технічної підготовки виробництва транспортної техніки [Текст] / М. Є. Тараненко, Г. В. Мигаль, Н. В. Кобрин, І. М. Тараненко, Д. В. Молоштан // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 6 (37), ч. II, 2022, – С. 99-107, DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.99-107](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.99-107).

8. Карпов, Я. С. Проектирование деталей и агрегатов из композитов : учебник [Текст] / Я. С. Карпов. – Х. : Нац. аерокосм. ун-т ім. Н. Е. Жуковського “Харьк. авиац. ин-т”, 2010. – 768 с. - ISBN 978-966-662-215-3

Reference

1. Karpov, Ya. S. Soedineniya detalei i agregatov iz kompozitsionnikh materialov [Tekst] / Ya. S. Karpov. – Kharkov : Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo «KhAI», 2006. – 359 s. ISBN 966-662-133-9.

2. U turetskii kompanii Baykar zayavili, koli v Ukraini dobuduyut zavod z virobnitstva BPLA [Elektronni resurs]. – Rezhim dostupu : <https://nv.ua/ukraine/events/bayraktar-stroitelstvo-zavoda-po-proizvodstvu-bpla-v-ukraine-zavershat-v-2025-godu-50461177.html> (29.10.2024).

3. TU Delft's Newest Tailsitter Drone Is Designed for Outback Delivery A hybrid delta biplane design results in efficiency, range, and pinpoint landings [Elektronni resurs]. – Rezhim dostupu : <https://spectrum.ieee.org/tu-delft-tailsitter> (29.10.2024).

4. ApusDuo – bezpilotni biplan-psevodosputnik iz sonyachnimi panyami [Elektronni resurs]. – Rezhim dostupu : <https://itc.ua/blogi/apusduo-bespilotnyi-y-biplan-psevodosputnik-s-solnechnymi-panyami/> (29.10.2024).

5. Azgaldov, Garry G. The ABC of Qualimetry Toolkit for measuring the immeasurable / Garry G. Azgaldov, Alexander V. Kostin, Alvaro E. Padilla Omiste, Ridero, 2015, 167 p, ISBN 978-5-4474-2248-6, http://www.labrate.ru/kostin/20150831_the_abc_of_qualimetry-text-CC-BY-SA.pdf.

6. Taranenko, I. M. Rozrakhunkovo-analitichne porivnyannya pokaznikiv vlastivostei variantiv konstruktivno-tekhnologichnikh rishen transversalnikh z'ednan “metal + kompozit” [Tekst] / I. M. Taranenko // Vidkriti informatsiini ta komp'yuterni integrovani tekhnologii : zb. nauk. prats, – Kharkiv : Nats. aerokosm un-t im. M. Є. Zhukovskogo «KhAI», 2022, № 96, – S. 4-23, doi:10.32620/oikit.2022.96.01.

7. Taranenko, M. Є. Kvalimetrichna model upravlinnya yakistyu tekhnichnoї pidgotovki virobnitstva transportnoї tekhniki [Tekst] / M. Є. Taranenko, G. V. Migal, N. V. Kobrina, I. M. Taranenko, D. V. Moloshtan // Tsentralnoukraїnskii naukovi visnik. Tekhnichni nauki. 2022. Vip. 6 (37), ch. II, 2022, – S. 99-107, DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6\(37\).2.99-107](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.6(37).2.99-107).

8. Karpov, Ya. S. Proektirovanie detalei i agregatov iz kompozitov : uchebnik [Tekst] / Ya. S. Karpov. – Kh. : Nats. aerokosm. un-t im. N. Ye. Zhukovskogo “Khark.

aviats. in-t", 2010. – 768 s. - ISBN 978-966-662-215-3

Надійшла до редакції 22.10.2024, розглянута на редколегії 22.10.2024

Model for controlling quality of technical preparation of production of UAVs fuselage

Nowadays, the production of unmanned aerial vehicles (UAVs) outside of serial production is an urgent task. There is a need for the manufacture of such devices of various schemes, sizes and intended purpose. Aircraft-type UAVs (monoplanes and biplanes) are more difficult to manufacture. As a rule, they are single-use devices. Therefore, such devices should have a simple design, be light enough, have minimal radio visibility and a number of other properties that are necessary for conventional flying apparatus. Composites (glass and carbon plastics) are materials that largely meet the specified requirements. But for these materials, it is necessary to use special structural and manufacturing solutions (SMS) during the technical preparation of their production (TPP) (production of aerodynamic surfaces, assembly and joining of parts, aggregates into a structure). Quite a lot of such solutions are known, but their optimal selection and combination of individual SMS in the UAV depends significantly on the purpose of the UAV, the volume of production, production conditions and, in general, on the production goals.

The purpose of this work is to develop a mathematical model for quality management of technical preparation for the production of UAVs. It is the quality of the technical preparation of the production that determines the quality of the manufactured products and the effect of the production itself.

The work gives a general diagram of UAV manufacturing processes. The inextricable connection between the design and technological parts of technical training was noted. The multi-iteration process of developing optimal production processes, which depend on its various goals, is shown. The systematicity, compactness, and reasonableness of the solutions are determined by taking into account many properties of technical processes and the conditions of their implementation. The consideration of possibilities in computer-aided design is sufficiently substantiated. For its implementation, a complex model of quality management of technical training is required. The qualitative approach to model synthesis meets the conditions of complexity and reasonableness.

As an example of multi-variability, the SMS of the manufacture of the wing (bearing surfaces) and their connection with the fuselage is considered.

The original feature of the proposed mat model is the use as a control parameter of the weighting factor of one or another property of the SMS, which depends on the set goal.

The mechanism of distortion of given aerodynamic shapes of bearing surfaces, which are made of polymer composites, when they are supported by various structural elements (spars, stringer frames, fittings) is described. Such residual deformations lead to deterioration of aerodynamic quality and strength.

The scientific novelty of the work consists in the synthesis of a mat model of quality management of technical preparation for the manufacture of UAVs. The practical value of the work is determined by the given number of examples of SMS variants of different levels.

Keywords: technical preparation of production, mathematical model of UAV

manufacturing quality control, composite materials, metal-composite joint.

Відомості про авторів:

Тараненко Ігор Михайлович – кандидат технічних наук, доцент, професор каф. 403 композитних конструкцій та авіаційного матеріалознавства Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського “Харківський авіаційний інститут”, Харків, Україна, e-mail: igor.taranenko@khai.edu ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9554-0162>

Михайло Євгенєвич Тараненко – доктор технічних наук, професор, каф. 107 автомобілей та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: m.taranenko@khai.edu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3819-6948>

Кобріна Наталія Віталіївна – канд. техн. наук, доцент, в. о. зав. каф. 107 автомобілей та транспортної інфраструктури, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail: n.kobrina@khai.edu ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9499-2079>

Застела Олександр Миколайович – к.т.н., доцент, професор каф. 104 технології виробництва літальних апаратів, Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна, e-mail : sastela@khai.edu, ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0835-8114>

About the Authors:

Taranenko Igor – Ph.D., Professor of department of Composite Structures and Aviation Materials, National Aerospace University “KhAI”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: igor.taranenko@khai.edu ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9554-0162>

Taranenko Mykhaylo – Full Professor of Technical Sciences, Department of Automobiles and Transport Infrastructure, National Aerospace University “Kharkivaviation institute” named after N. Ye. Zhukovsky, Kharkiv, Ukraine, e-mail: m.taranenko@khai.edu ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3819-6948>

Kobrina Nataliy – Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Automobiles and Transport Infrastructure, National Aerospace University “Kharkivaviation institute” named after N. Ye. Zhukovsky, Kharkiv, Ukraine, e-mail: n.kobrina@khai.edu ORCID <https://orcid.org/0000-0001-9499-2079>

Zastela Oleksandr – PhD, Professor Assistant, Professor of the Airplane Manufacturing Department, National Aerospace University named after M. Ye. Zhukovsky “Kharkiv Aviation Institute”, Kharkiv, Ukraine, e-mail: sastela@khai.edu ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0835-8114>