ДЕРЖАВНЕ КОСМІЧНЕ АГЕНТСТВО УКРАЇНИ

Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля»

**«Підвищення функціональної ефективності композитних виробів авіакосмічної техніки»**

**Автори:**

1. КАРПІКОВА Оксана Олександрівна – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Державного підприємства «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля».

2. ГОЛОВЧЕНКО Яна Олегівна – інженер-конструктор відділу комп’ютерних проектів механізації фюзеляжу Державного підприємства «АНТОНОВ», аспірант кафедри композитних конструкцій та авіаційного матеріалознавства Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

**реферат**

**Дніпропетровськ – 2015**

Основним критерієм оцінювання сучасної авіакосмічної техніки (АКТ) є її конкурентоспроможність на світовому ринку, яка реалізується за рахунок зниження вартості конструкцій, підвищення їх ефективності й істотного зниження польотної маси. Так, вартість 1 кг корисного вантажу при авіаційних перевезеннях становить 1 – 2 тис. $ США, а для ракетно-космічної галузі вартість виведення на орбіту 1 кг маси становить 10 – 100 тис. $ США.

Таким чином, основними складовими реалізації концепції радикальної досконалості виробів АКТ є зниження їх маси, трудомісткості їх виробництва, а також підвищення їх властивостей особливо в специфічних (екстремальних) умовах експлуатації.

Як свідчить світовий досвід, основною умовою, що об’єднує ці складові концепції удосконалення виробів АКТ є широке використання сучасних полімерних композиційних матеріалів (ПКМ) у сукупності з інноваційними конструктивно-технологічними рішеннями (КТР), які дозволяють суттєво підвищити всі основні складові реалізації цієї концепції.

Одним із пріоритетних напрямків щодо зниження польотної маси агрегатів АКТ є широке використання тришарових (сендвічевих) конструкцій, елементи яких складаються з двох несучих шарів з ПКМ низької щільності при високих характеристиках міцності та жорсткості в поєднанні з легким стільниковим заповнювачем (СЗ).

Такі конструкції знайшли широке застосування в авіаційній і ракетно-космічній техніці починаючи з 60-х років минулого століття, але до теперішнього часу відсутні загальноприйняті підходи до їх оптимального проектування. Це спричинено тим, що методи оптимізації, які використовуються для тонкостінних конструкцій з ізотропних матеріалів, часто виявляються непридатними або недостатньо точними для тришарових агрегатів із ПКМ зі СЗ. Наявність початкових технологічних недосконалостей в СЗ, як в найбільш слабкій ланці тришарових агрегатів, знижує несучу здатність в цілому, що також необхідно враховувати при оптимізації за масою параметрів даного класу конструкцій.

Нині композитні тришарові конструкції із СЗ знаходять усе більш широке застосування в авіакосмічній галузі: головні обтічники ракет-носіїв, перебірки паливних баків, перехідні відсіки космічних апаратів, корпусні вироби, каркаси сонячних батарей супутників, стулки й обтічники шасі літаків, панелі підлоги, вогнестійкі перегородки й стулки, панелі фюзеляжу і т.д.

У результаті численних досліджень було виявлено такі основні переваги стільникових конструкцій (СК) із ПКМ:

* великі питома міцність і жорсткість;
* хороші характеристики втомної міцності, особливо в зонах з підвищеними акустичними навантаженнями;
* менша трудомісткість проектування складальних вузлів;
* підвищені тепло- і звукоізоляційні властивості;
* велика економічність порівняно з традиційними конструкціями;
* високий коефіцієнт внутрішнього поглинання енергії.

Другим із пріоритетних напрямків підвищення ефективності конструктивно-технологічних рішень виробів АКТ із ПКМ є розробка методів й принципів раціонального проектування шляхом створення таких конструктивно-силових схем, які б забезпечували відповідність функціональним вимогам до конструкції, мали мінімальну масу та високу технологічність.

При реалізації проаналізованих світових тенденцій зростання застосування ПКМ в конструкціях АКТ в конкретних умовах України виробничники стикаються з рядом існуючих проблем, у першу чергу економічного і технічного характеру.

Дана наукова робота присвячена вирішенню однієї з важливих складових цієї багатоаспектної комплексної проблеми наукового забезпечення створення високоефективних агрегатів АКТ з ПКМ і містить такі основні питання.

1. Технологічні методи підвищення функціональних властивостей стільникових заповнювачів та конструкцій із полімерних композиційних матеріалів, що охоплює:

- розробку загального методу коригування аналітичних моделей фізичних процесів, явищ або властивостей об’єктів з використанням експериментальних даних;

- реалізацію загального методу коригування аналітичних моделей і властивостей об'єкта для цілеспрямованої корекції фізико-механічних характеристик і міцності стільникових заповнювачів;

- аналіз альтернативних методів визначення несучої здатності стільникових конструкцій при нанесенні клею на торці граней стільникового заповнювача.

2. Вдосконалення технології формування обшивок стільникових конструкцій із полімерних композиційних матеріалів, що охоплює:

- концептуальний підхід і розробка методу вдосконалення технології формування обшивок стільникових конструкцій із ПКМ та його основні складові;

- розробку способу монолітізації матриці;

- розвиток нового підходу до вибору режимів отвердження ПКМ;

- підвищення фізико-механічних і міцностних властивостей ПКМ за допомогою комплексної сполуки ренію (V);

- енергозберігаючу технологію формування обшивок стільникових конструкцій та інших виробів із ПКМ.

3. Вибір раціональних конструктивно-силових схем й проектування агрегатів АКТ із ПКМ, що охоплюють:

- аналіз процесу проектування;

- принцип розробки раціональних КСС агрегатів АКТ на прикладі дверей, рампи, трапів транспортного літака;

- проектування першого в світі композитного трапу вантажного люка транспортного літака;

- розробку захисту композитних конструкцій від пошкоджень в процесі експлуатації.

В основу роботи покладено результати, отримані авторами під час спільних та індивідуальних наукових досліджень, які є основними складовими концепції удосконалення виробів АКТ із ПКМ: мінімізації їх маси; вибору ефективних КТР СК, принципів та методів розробки конструктивно-силових схем агрегатів АКТ, що виконувались у ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», ДП «Антонов».

**Мета роботи**

Метою комплексної наукової роботи є вирішення актуальної проблеми зниження маси корпусів літальних апаратів (ЛА) шляхом оптимізації їх параметрів на основі синтезу методу скінченних елементів та нових моделей СЗ, підвищення якості та експлуатаційних характеристик відповідальних агрегатів шляхом зростання функціональних властивостей СЗ і СК із ПКМ для АКТ, розроблення ефективних конструктивно-технологічних методів і рішень, які їх реалізують, виявлення технологічних дефектів, що виникають у процесі виробництва, розроблення методів їх зниження, а також розробка рекомендацій вибору раціональної конструктивно-силової схеми й проектування агрегатів АКТ із ПКМ та їх захист від пошкоджень у процесі експлуатації.

Дана наукова робота містить дослідження авторів, які були проведені ними у період з 2010 по 2014 рік у рамках реалізації наукових проектів Міністерства освіти і науки України, що фінансувалися за рахунок загального фонду державного бюджету, а також наукових проектів, що виконувались відповідно до Програми розвитку авіакосмічної промисловості України, Державної комплексної програми розвитку авіаційної промисловості України до 2020 р., затвердженої Постановою Кабінету міністрів України №1665-25 від 12.01.01 р. і Загальнодержавної (Національної) космічної програми України:

- №103/1/2008-1089 «Оптимізація за масою тришарових багатовідсікових систем з полімерних композиційних матеріалів із стільниковим заповнювачем»;

- Д/Р 0108U011012 «Наукове забезпечення проектування і виробництва виробів авіакосмічної техніки з полімерних композиційних матеріалів»   
(2009 – 2011 рр.);

- Д/Р 0111U010506 «Технологічна механіка інтегральних конструкцій авіаційної техніки із полімерних композиційних матеріалів (2012 – 2013 рр.);

- №Т-8303/07 «Розробка та освоєння технологій серійного виробництва інтегральних конструкцій із сучасних полімерних композиційних матеріалів».

**Наукова новизна одержаних результатів**

Найбільш істотними елементами наукової новизни результатів комплексного дослідження є такі:

1. Уперше розроблено основи загального методу коригування математичних моделей властивостей фізичних об’єктів з використанням експериментальних даних, що реалізовані для коригування ФМХ і міцності СЗ накладанням їх матриць, побудованих з урахуванням обмежень на параметри, які входять до них, що дозволяє встановити допустиму область, в якій усі параметри задовольняють вимогам регламенту або стандарту;

* уперше аналітичними методами і методом скінченних елементів проведено комплексне дослідження несучої здатності клейового з'єднання обшивок СК із ПКМ з СЗ, виготовленого з алюмінієвої фольги при трансверсальному відриві для основних технологічних способів нанесення клею, що дозволяє прогнозувати характер руйнування з'єднання залежно від параметрів чарунки СЗ та клейового шару;

1. Отримав подальший розвиток стосовно до обшивок з ПКМ СК електрофізичний метод оптимізації режимів їх отвердіння в поєднанні з контролем усіх стадій технологічного процесу, що забезпечує отримання безпористого ПКМ з підвищеними ФМХ за рахунок цільових добавок комплексного з'єднання ренію.
2. Уперше синтезовано підходи до раціонального проектування агрегатів АКТ із ПКМ;

* розроблено принцип вибору раціональних конструктивно-силових схем агрегатів;
* проаналізовано імовірні конструктивно-силові схеми основних агрегатів літака: дверей та елементів вантажного люка (рампи, трапів);
* уперше з ПКМ спроектовано трап – елемент вантажного люка транспортного літака;
* уперше проаналізовано причини механічних пошкоджень агрегатів ЛА під час експлуатації, для захисту запропоновано й перевірено експериментально спеціальні поліуретанові покриття.

**Практичне значення одержаних результатів**

1. Реалізація запропонованої концепції мінімізації маси при оптимізації конструктивних параметрів у регулярній зоні головного обтічника ракети-носія «Циклон-4» виявила її ефективність, що виявилася в зниженні маси оптимального виробу на 15% порівняно з початковим варіантом, розробленим ДП «КБ «Південне».
2. Проаналізовано, виявлено та рекомендовано технологічні способи корекції ФМХ СЗ та його властивостей міцності за результатами реалізації методу накладання матриць, що забезпечили створення СЗ з підвищеними функціональними характеристиками;

* рекомендовано ефективні технологічні способи реалізації параметрів клейових з’єднань СК, що забезпечують їх регламентовану несучу здатність при адресному дозованому нанесенні клею на торці СЗ;
* проаналізовано аналітичний метод і МСЕ оцінки несучої здатності СК при трансверсальному відриві у випадку адресного дозованого нанесення клею на торці граней СЗ;
* рекомендовано проводити склеювання панелі з адресним дозованим нанесенням клею на торці СЗ при технологічному режимі, температурі й тиску, що забезпечують глибину проникнення торців СЗ в клей 0,5;
* розроблено енергозберігаючу технологію формування обшивок СК з ПКМ, що забезпечила скорочення тривалості процесу залежно від типу зв’язуючого та дозволяє скоротити цикл термообробки ПКМ, зменшити витрати на силову енергію та підвищити механічні характеристики виробів із ПКМ, а також рекомендована для прискорення процесу отвердження обшивок СК із ПКМ для відповідальних агрегатів АКТ.

1. Виконано аналіз структури і послідовності постановки задачі проектування конструкцій з композиційних матеріалів;

* сформульовано принцип й підходи до раціонального проектування агрегатів з ПКМ, за допомогою яких розроблено КСС основних агрегатів ЛА;
* запропоновані можливі варіанти подальшого застосування ПКМ в високонавантажених конструкціях літака;
* проведено порівняльний аналіз КСС таких агрегатів літака, як двері, рампа, трап;
* проведено проектування композитного трапа транспортного літака  
  Ан-178, який на сьогодні не має аналогів у світі;
* для захисту виробів із ПКМ від механічних пошкоджень під час експлуатації запропоновано й перевірено експериментально спеціальне поліуретанове покриття, яке має широкий діапазон використання.

Основні результати та рекомендації роботи реалізовано на підприємствах авіаційної та ракетно-космічної галузі України: ДП «КБ «Південне» ім. М.К. Янгеля», ДП «Антонов», що дозволило підвищити ФМХ СЗ на 20…30% і зменшити поверхневу масу СК космічного призначення в 1,5-2 рази, суттєво зменшити масу композитних конструкцій літаків Ан.

**Загальна кількість публікацій** – **64**, зокрема за науковою працею – **38**. З них **1** монографія, **11** наукових статей у збірниках, що включені до переліку наукових фахових видань України, **6** статей у збірниках, що входять до наукометричних баз даних, **1** публікація в матеріалах конференцій, що входять до наукометричних баз даних, **19** публікацій у матеріалах конференцій, тезах доповідей та виданнях, що не включені до переліку наукових фахових видань України.

\_\_\_\_\_\_ /О.О. Карпікова/

(підпис)

\_\_\_\_\_\_ /Я.О. Головченко/

(підпис)

Вчений секретар ДП «КБ «Південне», к.т.н. Л.П. Потапович