

ВІДГУК

офіційного опонента Львова Геннадія Івановича
на дисертаційну роботу Андрєєва Олексія Вікторовича
«**НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СТВОРЕННЯ
КОНСТРУКЦІЙ ТРАНСПОРТНИХ ЛІТАКІВ З ПОЛІМЕРНИХ
КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЕТАПАХ
ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБУ**»,

що представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.07.02 - проектування, виробництво та випробування
літальних апаратів

1. Актуальність теми дисертації

Полімерні армовані композиційні матеріали все частіше стають найбільш оптимальним рішенням при використанні у виробі авіаційної техніки. Висока міцність композиційних матеріалів за відносно малої ваги, корозійна стійкість та інші цінні властивості визначають ефективність їх застосування.

У зв'язку із швидким поширенням композиційних матеріалів у літакобудуванні, набула актуальності проблема раціонального проектування елементів конструкцій з таких матеріалів. Відмінною особливістю технологічних процесів виготовлення елементів конструкцій з композиційних матеріалів є одночасність створення матеріалу і виробу. Це природнім чином поєднує такі етапи життєвого циклу літаків, як вбір композиційного матеріалу, проектування елементів конструкції та розробка технології виробництва. Якість елементів конструкцій із композиційних матеріалів залежить від точності розрахунків параметрів міцності, оптимального вибору технологічних процесів виробництва, раціонального планування та реалізації етапів підготовки виробництва для виготовлення формоутворюючого оснащення. Важливе значення має знаходження раціональних рішень на кожному етапі життєвого циклу виробу. Це потребує розробки класифікатору складових повного життєвого циклу виробу та створення алгоритму вибору раціональних технологічних процесів виготовлення деталей із композитів. При виборі технологічного оснащення на всіх етапах підготовки виробництва важливо враховувати параметри собівартості.

У зв'язку з вищевикладеним, актуальність дисертаційної роботи Андрєєва Олексія Вікторовича, спрямованої на розробку наукових основ підвищення ефективності створення конструкцій транспортних літаків із

композиційних матеріалів на різних етапах життєвого циклу, не викликає сумнівів. Результати роботи Андреева О. В. сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних літаків на світовому авіаційному ринку. Результати роботи впроваджені в практичну діяльність на підприємстві ДП «АНТОНОВ», що також підтверджує актуальність роботи.

2. Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

Основні наукові положення та висновки зроблені на підставі детальних досліджень автора. Сформульована загальна дворівнева класифікація технологічних процесів виробництва виробів із композитних матеріалів базується на детальному аналізі ознак категорій життєвого циклу виробів: ефективності конструкцій, застосовуваних матеріалів, виробничу складову з описом основних типів технологічних процесів, випробування та експлуатації авіаційних конструкцій і утилізації композитних деталей. Цей аналіз створив підґрунтя для висновку, що запропонований класифікатор дозволяє визначити послідовність і обсяг робіт по забезпеченню ефективного застосування виробів із композиційних матеріалів в агрегатах авіаційної техніки.

Розроблена блок-схема процесів інтегральної структури технологічної підготовки виробництва авіаційних конструкцій із композитних матеріалів та сформульовані рекомендації з вибору матеріалів для виготовлення майстер-моделей для полімерного оснащення в умовах дослідного й серійного виробництва обґрунтовані результатами аналізу досвіду провідних світових виробників матеріалів для полімерного оснащення.

Розроблена концепція оптимізації і проектний комплекс вибору раціональних конструктивне технологічних параметрів агрегатів обґрунтована детальним аналізом основних варійованих параметрів. Так, розглянуті причини виникнення дефектів суцільності композиційних матеріалів, які приводять до зниження якості елементів композитних конструкцій та зниження їх ресурсу. На прикладі елементів конструкцій з вуглепластика у літаках ДП «Антонов» наведені дані про частоту різних типів ушкоджень. Достовірність результатів оптимального проектування в запропонованій постановці забезпечена застосуванням класичного симплекс-методу математичного лінійного програмування.

Висновок, що рівень технологічної підготовки виробництва й вибір критеріїв проектування впливає на собівартість кінцевого виробу підтверджено результатами розгляду конкретних прикладів. У випадку виготовлення кінцевої поверхні крила з вуглепластика літаків Ан-158 і Ан-178 продемонстровано гарну збіжність прийнятих умов і допущень по зниженню трудомісткості й підвищенню коефіцієнту використання матеріалу.

Позитивний ефект від використання результатів та рекомендацій, наведених в дисертаційній роботі, на ДП «Антонов» також свідчить про їхню достовірність та застосовність до вирішення задач, які ставить перед інженерами та науковцями сучасна промисловість України.

Усе вище викладене дозволяє вважати всі основні положення дисертації обґрунтованими, а отримані результати – достовірними.

Основні висновки дисертаційної роботи випливають із аналізу виконаних досліджень і достатньо обґрунтовані їх результатами.

3. Наукова новизна дисертаційної роботи

Наукова новизна дослідження Андрєєва Олексія Вікторовича та отриманих їм результатів полягає в наступному:

1. Уперше розроблений класифікатор етапів життєвого циклу виробів із композитних матеріалів із ієрархічною, що містить основні групи ознак категорії життєвого циклу виробів: аналізу ефективності конструкцій; складу конструкцій з описом типів конструкцій і матеріалів; виробничу складову життєвого циклу в комплексі з описом основних типів технологічних процесів та обладнання; випробування авіаконструкцій; експлуатації та їх утилізації.
2. Уперше створено проектний комплекс по оптимізації технологічних параметрів виробів, що враховує оптимізацію вибору конструктивно-силової схеми агрегату, технологічних рішень та вибір застосовуваних матеріалів по ряду критеріїв оптимальності в умовах авіаційної промисловості України. Встановлено, що найбільш ефективний результат оптимізації параметрів може бути отриманий застосуванням методу синтезу силової схеми по раціональному розподілу конструкційного матеріалу в поєднанні з порівняльними дослідженнями параметричної оптимізації.
3. Розроблено методику аналізу ефективності впровадження засобів автоматизації основних технологічних операцій процесу виготовлення виробів із композитних матеріалів, що включають технології розкрою заготовок і формоутворення із застосуванням сучасного програмного забезпечення.
4. Створено комплексну систему економічного аналізу впровадження композиційних матеріалів в сучасному літакобудуванні. Проаналізована залежність впливу типів технологічних процесів на собівартість продукції. Розроблено новий підхід до формування собівартості виробів із композиційних матеріалів, що дозволяє на стадії проектування технології впливати на основні складові собівартості: вартість устаткування й оснащення, матеріалів та трудомісткість.

4. Значимість для практики рекомендацій та висновків

Цінність для практики виконаного Андрєєвим Олексієм Вікторовичем дисертаційного дослідження полягає у розробленому комплексному підході до вирішення проблеми підвищення ефективності створення конструкцій із композитних матеріалів на всіх етапах життєвого циклу українських транспортних літаків. Розроблено та впроваджено на вітчизняних підприємствах проектний комплекс по оптимізації технологічних параметрів виробів із композитних матеріалів.

На Державному підприємстві «АНТОНОВ» впроваджено інтегральний класифікатор етапів життєвого циклу виробів для оптимізації й раціонального вибору процесів виробництва, методику розрахунку щодо впровадження високотехнологічного обладнання для зниження обсягу ручної праці й підвищення якості композитних конструкцій з визначенням періодів окупності, залежно від темпів виробництва авіаційної техніки та рекомендації щодо уникнення технологічних дефектів. За результатами розгляду конкретних прикладів деталей літака Ан-178 зроблений аналіз недоліків, які були допущені при проектуванні виробів із композитних матеріалів, та впроваджено рекомендації з удосконалювання існуючих конструкцій.

На Харківському державному авіаційне виробничому підприємстві застосовано рекомендації про підвищенню ефективності впровадження засобів автоматизації основних технологічних операцій. Як конкретний приклад використано методики по визначенню необхідної кількості лазерних розкрійних машин в залежності від програми випуску літаків.

Результати дисертаційного дослідження Андрєєва О. В. можуть бути використані як керівні технічні документи для конструкторських відділів у процесі розробки й впровадження нових елементів конструкцій із композитних матеріалів.

5. Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Основні наукові положення і результати досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані в 20 наукових працях, зокрема 15 статей у журналах України, включених у наукометричні бази, 4 у збірниках і журналах, включених у перелік наукових спеціалізованих видань України, 1 стаття у закордонному періодичному виданні, а також 7 публікацій у матеріалах конференцій і тезах доповідей та 8-ми патентах.

Основні положення дисертації доповідались й обговорювалися на всеукраїнських та міжнародних науково-технічних конференціях., у тому

числі: на XVII Українській конференції з космічних досліджень (м. Одеса, 2017 р.); JRC Conference (м. Київ, 2017 р.); Міжнародній конференції «Розвиток виробництва, нового обладнання й нових можливостей і матеріалів» (Ningbo, Китай 2017 р.); Міжнародній конференції «Science and Technology Achievement Promotion Conference» (Ningbo, Китай 2018 р.), XII міжнародних молодіжних науково-технічних читаннях ім. А.Ф. Можайського (м. Запоріжжя, 2019 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта» (м. Херсон, 2019 р.), Міжнародній конференції Composite Ukraine 2020 (м. Ірпінь, 2020).

Основні результати дисертації знайшли повне відображення в наукових виданнях. Зміст автореферату ідентичний основним положенням дисертації та повністю висвітлює отримані автором результати досліджень і висновки роботи.

6. Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеності в цілому та викладення зауважень щодо її оформлення

Основний зміст дисертаційної роботи складається зі вступу, п'яти розділів та висновків.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, задачу, об'єкт та предмет досліджень, основні наукові результати, їхня наукова новизна та практичне значення, зазначено особистий внесок здобувача у роботи, що виконані у співавторстві, наведено відомості про публікації та інформацію про апробацію результатів досліджень.

Перший розділ присвячено докладному аналізу науково-технічних проблем застосування композиційних матеріалів у вітчизняній галузі авіабудування. У розділі проведений аналіз факторів проблематики створення виробів авіаційної техніки, основними з яких є: проектувальний, виробничий, економічний, експлуатаційний і екологічний фактори. Розглянуто досвід ДП «Антонов», накопичений при створенні літаків Ан-28, Ан-22 «Антей», Ан-72 та інш. Показано, що складові життєвого циклу є базою для нового наукового напрямку - підвищення ефективності виробництва виробів із композиційних матеріалів на різних етапах життєвого циклу виробу. У розділі міститься детальний огляд публікацій, присвячених проблемам застосувань композиційних матеріалів у авіаційної та космічної галузях.

Проведений аналіз дозволив обґрунтовано обрати напрями досліджень дисертації та визначити мету та перелік потрібних робіт.

У **другому розділі** розроблена дворівнева класифікація технологічних процесів виробництва конструкцій із композиційних матеріалів, що враховує сучасні тенденції застосування матеріалів, операції з підготовки й

налагодження обладнання, що передбачують завантаження матеріалу для розкрійних і укладальних машин, завантаження файлів розкрою укладання та позиціонування оснащення перед роботою.

Показано, що універсальним засобом підвищення якості виробів є автоматизація технологічних процесів. Підвищення рівня автоматизації дозволяє досягти стабільних заданих фізико-механічних характеристик конструкцій, зменшити обсяги ручної праці, скоротити виробничі цикли та зменшити собівартість технологічної підготовки виробництва.

Проведено огляд і аналіз класифікаційних аспектів раціонального вибору типів конструкцій із композиційних матеріалів. На підставі аналізу розроблений класифікатор виробів із урахуванням технологічних процесів їх виготовлення, як однієї із складових конструкцій транспортних літаків. Для кожного з етапів життєвого циклу розроблена декомпозиція кожного виду з описом повного обсягу робіт по ефективному застосуванню виробів із композиційних матеріалів в агрегатах авіаційної техніки протягом життєвого циклу.

У третьому розділі проведений аналіз основних показників і складових технологічної підготовки виробництва. За результатами виконаного аналізу синтезована схема інтегральної структури технологічної підготовки виробництва авіаційних конструкцій, що включає необхідність впровадження принципів ощадливого виробництва.

Виконано комплексний аналіз можливості застосування різних типів матеріалів майстер-моделей для виготовлення формоутворюючого оснащення, для визначення величин відхилень проведені практичні дослідження на прикладі агрегату крила транспортного літака. Розглянуто конкретні приклади й проаналізовані недоліки, які були допущені при проектуванні й виготовленні деяких агрегатів літаків. Запропоновано альтернативні рішення для підвищення ефективності виробництва й зниження циклів виготовлення деталей. Описано нові підходи для зниження собівартості виробів, що випускаються серійно, а також запропоновані шляхи по скороченню тривалості технологічної підготовки виробництва.

Четвертий розділ присвячено розробці концепції оптимізації і проектного комплексу вибору раціональних конструктивно технологічних параметрів агрегатів із композиційних матеріалів. В рамках цієї концепції запропонована методика вибору оптимальної конструктивно силової схеми із застосуванням методу математичного лінійного програмування. Встановлено ієрархічний порядок тривірневої системи виявлення дефектів структури, що виникають в процесі підготовки і виробництва деталей з композиційних матеріалів. Запропоновано схему виявлення дефектів структури матеріалів прямими і посередніми методами контролю ступеня дефектності матеріалу.

Розроблено ряд рекомендацій з попередження дефектів на різних етапах виробництва, у тому числі методи ремонту непрочлеїв і розшарувань, отриманих після формування виробів із застосуванням автономного ремонтного комплексу.

У п'ятому розділі розглянута проблема контролю обліку витрат при виробництві виробів із композиційних матеріалів і розроблені пропозиції для їхнього ефективного зниження за рахунок впровадження оптимальних технологічних процесів, сучасних методів моделювання й впровадження сучасного автоматизованого обладнання. Проведено комплексну оцінку структурних складових технологічної собівартості та запропоновані залежності для визначення основних складових цієї собівартості.

Проведено техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження засобів автоматизації основних технологічних операцій. Зокрема, запропоновано залежності для визначення необхідної кількості лазерних проекторів і розкрійних машин залежно від програми випуску літаків.

На практичному прикладі виготовлення елементів крила з вуглепластика літаків Ан-158 і Ан-178, доведена ефективність застосування лазерних проекційних систем, розкрійної машини в комплексі з модулем пошарового моделювання. Продемонстрована досить гарна збіжність прийнятих умов і допущень по зниженню трудомісткості.

7. Зауваження по дисертаційній роботі

1. Важливим резервом підвищення ефективності транспортних літаків на різних етапах життєвого циклу є застосування концепції *CALS (Continuous Acquisition and Life Cycle Support)*, що забезпечує безперервну інформаційну підтримку життєвого циклу продукції. Принципи та методології *CALS* впроваджуються на світових підприємствах аерокосмічної галузі. В числі перших, були такі світові компанії, як «Airbus Industry», «The Boeing Company», «Rolls-Royce», «Saab Aerospace». Так в корпорації Boeing *CALS*-системи використовувалися для скорочення часу проектування і зменшення кількості технічної документації при реалізації проекту Boeing 777.

Але в першому розділі дисертації цьому напрямку не приділено достатньої уваги.

2. У розділі 3 проведено порівняльний аналіз точності майстер-моделей з деревини і полімерної плити для формоутворювального оснащення для виготовлення носової частини агрегату механізації крила транспортного

літака переговним методом. Для цього були виконані заміри відхилень геометричних розмірів майстер-моделей від еталонної математичної моделі в визначених розміткою точках. Результати вимірів приведені на рис. 3.8 - 3.10. У цій частині роботи доцільно було б застосувати методи планування експерименту та виконати математичну обробку результатів.

3. Розроблена в частині 4.3 методика вибору раціональної конструктивно-силової схеми базується на спрощеній розрахунковій схемі елементів конструкцій. При математичній постановці задачі оптимізації реальна конструкція моделюється стрижневою системою. Можливість такого спрощення потребує обґрунтування для конкретних типів конструкцій. У якості цільової функції введена питома вага, де міститься еквівалентне напруження. Але відсутні залежності для еквівалентного напруження, як і застосовані критерії міцності композиційних матеріалів.

4. Є зауваження редакційного характеру стосовно оформлення роботи. Невдало скомпоновано рис. 2.2, який не дає наочного уявлення залежності коефіцієнта запасу міцності K_z від ступеня автоматизації технологічних процесів АТП. Незрозуміла також там екстраполяція в область негативних значень ступеня автоматизації технологічних процесів АТП.

Зустрічаються термінологічні неточності: “напруга” замість “напруження”, “обсяг” замість “об’єм”, “завдання” замість “задача”.

8. Висновок

На основі вивчення змісту дисертаційної роботи, автореферату і публікацій вважаю, що дисертація Андрєєва Олексія Вікторовича «Наукові основи підвищення ефективності створення конструкцій транспортних літаків із полімерних композиційних матеріалів на етапах життєвого циклу виробу» відповідає паспорту спеціальності 05.07.02 - проектування, виробництво та випробування літальних апаратів. Дисертація є завершеним науковим дослідженням, у якому поставлена і вирішена важлива науково-практична проблема підвищення ефективності виробництва конструкцій із полімерних композиційних матеріалів вітчизняних літаків транспортної категорії. Робота виконана на високому рівні, містить нові, цінні з наукової і практичної точок зору результати, написана технічно грамотною мовою. Результати роботи підтверджені актами про впровадження у виробництво.

Дисертація відповідає вимогам п.п. 10, 12 і 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор, Андреев Олексій Вікторович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.02 - проектування, виробництво та випробування літальних апаратів.

Офіційний опонент,
професор кафедри динаміки і міцності машин
Національного технічного університету «Харківський
політехнічний інститут»,
доктор технічних наук, професор



Геннадій ЛЬВОВ

27 листопада 2020 р.

Підпис д.т.н., проф. Львова Г.А. засвідчую,
Учений секретар НТУ "ХПІ"



Олександр ЗАКОВОРОТНИЙ