

Міністерство освіти і науки України
Національний авіаційний університет

БИЧКОВ АНДРІЙ СЕРГІЙОВИЧ



УДК 629.715.33/621.7.62

**КОНЦЕПЦІЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙ АГРЕГАТІВ ВІТЧИЗНЯНИХ
ЦИВІЛЬНИХ ЛІТАКІВ СПЕЦІАЛЬНИМИ МЕТОДАМИ
ПОРОШКОВОЇ МЕТАЛУРГІЇ**

Спеціальність 05.07.02 – проектування, виробництво та випробування
літальних апаратів

Галузь знань 13 – механічна інженерія

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на Державному підприємстві «АНТОНОВ»
Державного концерну «УКРОБОРОНПРОМ»

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Ігнатович Сергій Ромуальдович,
Національний авіаційний університет
Міністерства освіти і науки України, завідувач
кафедри конструкції літальних апаратів.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Кривов Георгій Олексійович,
Публічне акціонерне товариство «Український
науково-дослідний інститут авіаційної технології»
Державного концерну «УКРОБОРОНПРОМ»,
голова правління – генеральний директор;

доктор технічних наук, професор
Гайдачук Віталій Євгенович,
Національний аерокосмічний університет
ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри конструювання і проектування
ракетної техніки;

доктор технічних наук, професор
Санін Анатолій Федорович,
Дніпровський національний університет
ім. Олеся Гончара
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри технології виробництва
літальних апаратів.

Захист відбудеться « 12 » грудня 2019 р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.06 при Національному авіаційному університеті за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1, корп. 11, ауд. 220.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою: 03058, м. Київ, проспект Космонавта Комарова, 1.

Автореферат розіслано «__» _____ 2019 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 26.062.06,
кандидат технічних наук, с.н.с.



О. Ю. Корчук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Світовий ринок продажів і послуг повітряних суден транспортної категорії (ПС ТК) має стійку тенденцію до присутності на ньому обмеженого числа держав, куди входить і Україна, що мають науково-технічний і кадровий потенціал створення сучасних літаків і замкнутий цикл їх виробництва.

Цей ринок характеризується постійним зростанням конкуренції, успішна участь в якій передбачає безперервне збільшення вагової віддачі повітряних суден, їх надійності та ресурсу, а також інших важливих експлуатаційних характеристик.

Відомо, що конструкційні матеріали є базисом для створення будь-яких технічних об'єктів взагалі й авіаційної техніки особливо.

Будь-які льотно-технічні характеристики літака в кінці-кінців можуть бути реалізовані тільки експлуатаційними характеристиками того чи іншого конструкційного матеріалу, які значною мірою зумовлені рівнем технології їх переробки у відповідні конструктивно-технологічні рішення агрегатів літака. Тому прогрес в авіабудуванні і зокрема в цивільних літаках кожного покоління взаємопов'язаний з прогресом у розвитку матеріалів і технологій їх переробки.

Аналіз світового та вітчизняного досвіду застосування конструкційних матеріалів показує, що незважаючи на істотний матеріалознавчий прогрес, до теперішнього часу основними матеріалами авіабудування є металеві сплави на основі алюмінію, титану, сталі та постійне збільшення обсягу застосування в планері ПС ТК полімерних композиційних матеріалів (ПКМ), а також помітне зростання обсягів застосування нових матеріалів і технологій порошкової металургії.

Великі переваги порошкових матеріалів, пов'язані зі зниженням вартості сировини, підвищенням коефіцієнта використання матеріалу, а також можливості збільшення ресурсу, корозійної стійкості й зносостійкості конструкцій стимулювали істотне зростання їх впровадження в літаках зарубіжних компаній Boeing і Airbus.

Проте зростання обсягів застосування порошкових матеріалів пов'язано з необхідністю розробки наукових основ концепції підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних ПС ТК спеціальними методами порошкової металургії, що представляються актуальною комплексною проблемою забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних літаків на світовому ринку продажів і послуг.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В основу дисертації покладено матеріали, що узагальнюють дослідження, які проведені автором протягом 2014-2019 років в межах реалізації науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт з освоєння і впровадження у виробництво нових прогресивних технологічних процесів, матеріалів і обладнання, направлених на виконання стратегії розвитку вітчизняної авіаційної промисловості до 2020 року.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертації є підвищення вагової віддачі, надійності та інших льотно-технічних характеристик вітчизняних цивільних літаків, що забезпечують їх високу конкурентоспроможність на міжнародному ринку продажів і послуг шляхом розробки наукових основ концепції підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних цивільних літаків методами порошкової металургії.

Для досягнення цієї мети в роботі було сформульовано та вирішено такі задачі:

1. Розробити наукові основи загальної методології оцінки ефективності методів порошкової металургії, адаптованих до використання в агрегатах цивільних літаків.

2. Синтезувати критерії оцінки перспективності розширення застосування в конструкціях планера цивільних літаків спечених конструкційних матеріалів на основі алюмінію та титану.

3. Виконати дослідження та реалізувати потенційні можливості підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій цивільних літаків іонно-плазмовими та газотермічними методами нанесення покриттів.

4. Розробити критерії ефективності застосування порошкових матеріалів для вузлів тертя літаків.

5. Модифікувати методи інженерного прогнозування на довгострокові періоди для аналізу перспектив зростання обсягів впровадження матеріалів порошкової металургії в конструкції агрегатів вітчизняних цивільних літаків.

Об'єкт дослідження - агрегати вітчизняних ПС ТК зі спечених порошкових матеріалів та із захисними іонно-плазмовими і газотермічними покриттями.

Предмет дослідження - наукові основи складових концепції підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних ПС ТК методами порошкової металургії, а також синтезу їх раціональних конструктивно-технологічних рішень.

Методи дослідження. У розділах 2-5 дисертації широко використовувалися методи системного аналізу і математичної логіки, структурного аналізу. Крім того, в розділах 2-3 реалізовано апарат теорії класифікацій і кваліметрії, експертних оцінок, синтезу критеріальних оцінок ефективності застосування порошкових спечених матеріалів. У розділі 4 використано методи синтезу іонно-плазмових і газотермічних покриттів, фрактографії, неруйнівного контролю якості покриттів. У розділі 5 реалізовано електроіскровий та HVOF методи нанесення покриттів, металографічні та триботехнічні методи випробувань. У розділі 6 реалізовано методи теорії інженерного прогнозування.

Наукова новизна одержаних результатів.

У науково-методичному аспекті вперше розроблено науковий напрямок в теорії синтезу конструкцій агрегатів із застосуванням деталей зі спечених порошкових матеріалів, орієнтований на нові концептуальні підходи до вдосконалення їх конструкцій в специфічних умовах експлуатації шляхом вибору їх раціональних конструктивно-технологічних параметрів з урахуванням існуючого рівня виробництва, який в комплексі забезпечує наукову підтримку створення конкурентоспроможних на світовому ринку продажів і послуг ПС ТК.

Основними складовими цього напрямку є вперше запропоновані та реалізовані:

- концепція підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних ПС ТК спеціальними методами порошкової металургії;
- загальна методологія оцінки ефективності методів порошкової металургії стосовно до використання в агрегатах цивільних літаків;
- критерії оцінки перспективності розширення застосування в агрегатах ПС ТК спечених матеріалів на основі алюмінію та титану;
- критеріальні оцінки ефективності іонно-плазмових і газотермічних порошкових покриттів деталей агрегатів ПС ТК;
- критерії ефективності застосування порошкових матеріалів у вузлах тертя ПС ТК;

- одержала подальший розвиток теорія інженерного прогнозування перспективних обсягів застосування порошкових матеріалів в агрегатах вітчизняних літаків.

В експериментально-теоретичному і прикладному аспектах вперше розроблено математичні моделі, що реалізують методики науково-технічного забезпечення методології оцінки ефективності методів порошкової металургії в агрегатах ПС ТК за різних умов їх експлуатації.

Практичне значення одержаних результатів.

Одержані результати та рекомендації дозволяють:

- впровадити в агрегатах ПС ТК нові композитні металокерамічні, металополімерні та інші матеріали для вузлів тертя, здатні задовольнити комплексу суперечливих вимог, в тому числі для комбінованого приводу механізації крила літаків Ан-148, Ан-158, Ан-70, гальмівних підкладок для передньої опори шасі літака Ан-124 «Руслан», фрикційних дисків бортових вантажних кранів транспортних літаків, підшипників ковзання, втулок та інших деталей тертя, що працюють в режимі самозмащування;

- розробити і впровадити технології інженерії поверхні виробів з титанових сплавів, що забезпечують регламентований рівень функціональних властивостей зносостійкості та фретингокорозійної стійкості;

- встановити причини руйнування деталей з алюмінієвих, титанових сплавів і сталей та розробити рекомендації щодо суттєвого підвищення їх терміну служби;

- результати проведених в дисертації досліджень включені складовою частиною комплексу заходів, що послужили основою для обґрунтування продовження терміну експлуатації літаків ДП «АНТОНОВ» в 1,6 рази, що дало порівняльний економічний ефект понад 200 млн. грн за рахунок продовження експлуатації вітчизняних літаків замість закупівлі нових зарубіжних аналогів;

- науково обґрунтовано здійснювати попереднє прогнозування раціонального обсягу впровадження в агрегатах ПС ТК порошкових матеріалів в короткостроковий, середньостроковий і довгостроковий періоди залежно від реалізації можливостей ДП «АНТОНОВ».

Особистий внесок здобувача складають сформульовані і (або) вирішені ним основні складові даної науково-технічної проблеми, що включають в себе нові підходи, концепцію, методологію та критерії оцінки ефективності методів порошкової металургії, модифіковані методи інженерного прогнозування зростання обсягів впровадження матеріалів порошкової металургії в конструкцію ПС ТК, які стали базовими при створенні наукових основ методології синтезу потрібного рівня експлуатаційних характеристик агрегатів ПС ТК з урахуванням існуючого рівня їх виробництва і одержання нових конкретних результатів, викладених в 13 статтях [5, 15, 17-21, 24-28, 33], 2 тезах [36, 41] і 2 патентах [43, 45], опублікованих без співавторства. У колективній монографії [1] автором написані два розділи: розділ 4 «Титанові сплави» і розділ 6 «Матеріали триботехнічного призначення», в яких надано класифікації титанових сплавів і матеріалів триботехнічного призначення, що використовуються у літакобудуванні та інших галузях техніки, їх властивості при різних температурах, а також технологічні особливості; у колективній монографії [2] автором написані два розділи: розділ 2 «Основи порошкової металургії» і розділ 7 «Газотермічні порошкові покриття», в яких синтезовано і узагальнено численні дослідження

інших авторів, а також власні дослідження щодо методів одержання наноматеріалів, наноорієнтованих технологій обробки поверхні, що базуються на хімічних і фізичних процесах, а також повні узагальнені дані про високотемпературні, зносостійкі та інші захисні покриття, що застосовуються в конструкціях аерокосмічного призначення; в публікаціях зі співавторами [8, 11-13, 16, 22, 23, 30, 31, 39] автору належать ідеї, загальні підходи у вирішенні конкретних задач або вони належать співавторам в рівних частках участі [3, 4, 6, 7, 9, 10, 14, 29, 32, 34, 35, 37, 38, 40, 42, 44, 46-49].

В організаційно-технічних результатах роль автора полягала в консультаціях або спільних роботах. Так, в [3] автором на підставі аналізу великого статистичного матеріалу, що охоплює багаторічний період експлуатації вітчизняних повітряних суден транспортної категорії ДП «АНТОНОВ», проведено поглиблений аналіз основних видів і причин руйнування їх конструктивних елементів з алюмінієвих сплавів; в [4] запропоновано методику дослідження рівня зносостійкості зразків композитів з наповнювачем з порошкових відходів механічної обробки вуглепластиків; в [6] запропоновано підхід до оцінювання експлуатаційних характеристик втулок з матеріалу БФГ-50М, які пропонується використовувати замість металофторопласту у вузлах тертя літака; в [7] наведено методику проведення аналізу експлуатаційних руйнувань металевих конструкцій авіаційної техніки; в [8] наведено методику проведення поглибленого аналізу вичерпання експлуатаційної несучої здатності деталей і вузлів конструкцій вітчизняних повітряних суден транспортної категорії з титанових сплавів; в [9] запропоновано загальну постановку задачі визначення несучої здатності конструкцій вітчизняних і закордонних літаків транспортної категорії з полімерних композиційних матеріалів; в [10] запропоновано методику аналізу видів відмов, характеру і частоти експлуатаційних ушкоджень конструкцій вітчизняних і закордонних літаків з полімерних композиційних матеріалів; в [11] запропоновано методику дослідження зносостійких покриттів на основі карбіду вольфраму, які наносяться високошвидкісним газополуменевим методом на деталі авіаційного призначення; в [12] приведено методику дослідження експлуатаційних характеристик втулок з вітчизняного матеріалу БФГ-50М, які пропонується використовувати з метою імпортозаміщення для вітчизняних літаків, запропоновано технологічний процес одержання втулок і методику їх металографічного дослідження; в [13] запропоновано методику випробувань втулок з матеріалу БФГ-50М, які виготовлені методами порошкової металургії; в [14] запропоновано нові моделі ущільнення й полімеризації препрегів при інфузії сполучного у виробництві деталей авіатехніки з полімерних композиційних матеріалів; в [16] автором розкриті основні види й причини руйнування сталевих деталей вузлів і агрегатів літаків, наведено характерні приклади корозійного пошкодження, втоми, зносу та їх комплексного впливу на конструктивні елементи літаків ДП «АНТОНОВ»; в [22] автором запропоновано методику аналізу зміни структури і властивостей поверхні при формуванні моношарових іонно-плазмових титанових покриттів, а також методику визначення залишкових мікронапружень, зміни мікротвердості покриттів від їх товщини, запропоновано метод визначення товщини покриттів на деталях різної форми, заснований на ефекті поглинання матеріалом покриття рентгенівського флуоресцентного випромінювання, яке збуджується в одному з елементів підкладки; в [23] наведено результати дослідження автором впливу нітридного покриття на механічні властивості систем «метал-покриття»,

встановлено оптимальне значення шорсткості поверхні, при якій зберігається роботоздатність покриття, наведено результати досліджень взаємозв'язку корозійної стійкості з кінетичними параметрами процесу напилення; в [29] наведено методику аналізу ефективності застосування газотермічних покриттів, яка базується на запропонованій автором системі критеріїв, які є найбільш важливими для виробництва деталей і вузлів авіатехніки; в [30] автором проведено аналіз загальних характеристик матеріалів триботехнічного призначення, що складають фрикційний підклас, синтезовано класифікаційну схему основних видів компонентів фрикційних матеріалів; в [31] запропоновано класифікаційні компоненти експлуатаційних характеристик, які узгоджені з відносними критеріями ефективності фрикційних триботехнічних матеріалів пари тертя, числове визначення яких реалізується в межах концептуального підходу до критеріальної оцінки можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаконструкцій; в [32] автором запропоновано систему критеріїв для інженерного прогнозування ефективного обсягу використання матеріалів порошкової металургії в конструкціях агрегатів літаків; в [34] автором проведено аналіз вітчизняного і зарубіжного досвіду використання металокерамічних і металополімерних матеріалів у вузлах тертя агрегатів літаків, що дозволяє забезпечити їх надійність, якість і ресурс; в [35] запропоновано концептуальний підхід, який базується на використанні інтегрального критерію ефективності, що дозволяє зробити критеріальну оцінку підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаконструкцій з газотермічними покриттями, а також методику попереднього встановлення пріоритетності за ефективністю конкретних покриттів та відповідного їм газотермічного методу напилення; в [37] запропоновано методику проведення аналізу і синтезу формування структури і властивостей конструкційних матеріалів та їх покриттів з урахуванням критерію безпеки; в [38] запропоновано методику проведення аналізу впливу конструктивно-технологічних параметрів на втомну довговічність роз'ємних з'єднань конструктивних елементів з титанових сплавів; в [39] запропоновано принцип класифікації основних видів складів антифрикційних матеріалів для пар тертя авіаційних агрегатів; в [40] синтезовано класифікаційну схему основних видів антифрикційних матеріалів, яка включає два основних підкласи, що складають клас триботехнічних – ливарні сплави та спечені матеріали; в [42] запропоновано при формуванні покриття на металевій поверхні за допомогою іонно-вакуумного плазмового напилення для очищення поверхні використовувати ультразвукову очистку; в [43] запропоновано при виготовленні деталей з антифрикційними властивостями процес припикання (нагрів, витримку при температурі спікання й охолодження) здійснювати в середовищі водню; в [44] запропоновано при іонно-вакуумному напиленні антикорозійного покриття на металеву поверхню для очищення поверхні використовувати ультразвукову очистку; в [46] запропоновано при іонно-вакуумному нанесенні багат шарового антикорозійного покриття на металеву поверхню для очищення поверхні використовувати ультразвукову очистку; в [47] запропоновано при виготовленні заготовки для деталі з антифрикційного металокерамічного матеріалу використовувати графіт кристалічний ливарний; в [48] запропоновано при виготовленні заготовки для деталі з антифрикційного металокерамічного матеріалу використовувати графіт кристалічний ливарний як один з компонентів шихти; в [49] запропоновано при формоутворенні великогабаритної деталі із заготовки з листового ма-

теріалу в програму формоутворення поверхні з заготовки ввести додатково такий геометричний параметр як кут γ між вертикальною віссю крайніх роликів набірною пуансону та нормаллю, проведеною в точці контакту цих роликів з поверхнею заготовки, що дозволяє коректувати положення набірною пуансону на кожному переході формоутворення.

Апробація результатів дисертації. Окремі результати дисертації доповідалися автором на міжнародних і українських конференціях та семінарах, в тому числі на Всеукраїнській науково-технічній конференції «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні» ІКТМ 2016 і ІКТМ 2017 (м. Харків, 2016 і 2017 роки), Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки» (м. Харків, 2017 і 2018 роки), в межах 10-го Міжнародного авіаційно-космічного салону «АВІАСВІТ-XXI» (м. Київ, 2016 рік), на V і VII Технічних конференціях українського відділення Міжнародного товариства з просування матеріалів і технологій (SAMPE) (м. Київ, 2015, 2017 роки), Науково-технічній раді ДП «АНТОНОВ» (м. Київ, 2015-2018 роки), науково-технічному семінарі кафедри проектування літаків і вертольотів Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (м. Харків, 2015-2018 роки), VIII Всесвітньому конгресі «Авіація в XXI столітті» в Національному авіаційному університеті (м. Київ, 2018 рік).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковано у 49 наукових працях, у тому числі: 2 колективні монографії, 33 статті (13 з них без співавторства), з них 11 статей у збірниках та журналах, що включені до переліку наукових фахових видань України, 21 стаття у журналах України, що включені у міжнародні наукометричні бази, та 1 стаття у міжнародному науковому виданні; 6 публікацій в матеріалах конференцій та тезах доповідей та 8 патентів.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел з 259 найменувань і 8 додатків на 111 сторінках друкованого тексту. Загальний обсяг роботи становить 422 сторінки друкованого тексту, в тому числі основний текст дисертації містить 238 сторінок і включає 61 ілюстрацію та 45 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано її наукову новизну і практичне значення результатів, особистий внесок автора, наведено відомості про апробацію, публікації та структуру роботи.

У першому розділі проведено аналіз перспективних напрямків застосування конструкційних матеріалів і технологій їх переробки в агрегатах вітчизняних цивільних літаків. Досліджено основні причини руйнування в експлуатації конструктивних елементів вітчизняних цивільних літаків з металевих сплавів алюмінію, титану і сталі, а також полімерних композиційних матеріалів (ПКМ). Показано, що незважаючи на перманентно зростаючий обсяг застосування ПКМ в агрегатах конструкцій літаків, обумовлений їх високою ваговою віддачею і економічною ефективністю, має місце і помітне зростання обсягів використання нових матеріалів і технологій

порошкової металургії, великі переваги яких пов'язані зі зниженням вартості сировини, підвищенням коефіцієнта використання матеріалу, а також можливістю збільшення ресурсу, корозійної стійкості та зносостійкості.

Це стимулювало зростання їх використання в літаках зарубіжних компаній Boeing і Airbus. Має місце зростання використання спечених антифрикційних матеріалів в конструкціях вітчизняних літаків ДП «АНТОНОВ» (рис. 1).

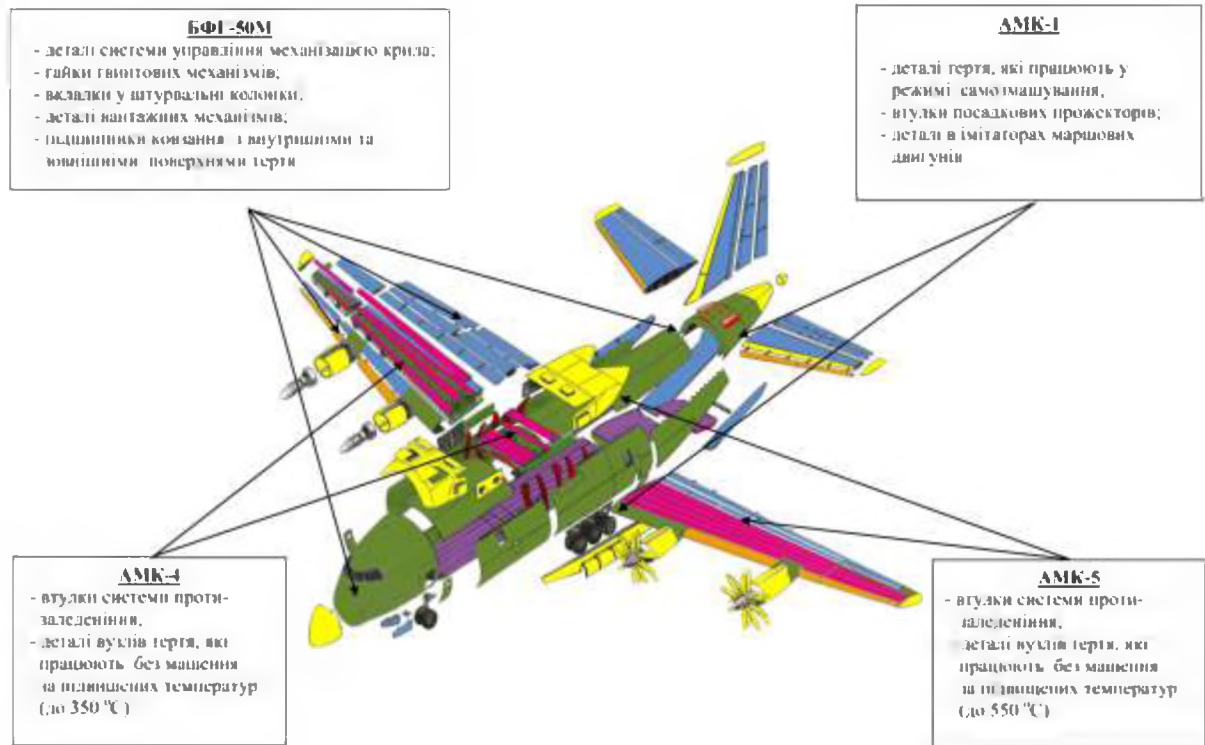


Рисунок 1 – Використання спечених антифрикційних матеріалів в конструкції літаків ДП «АНТОНОВ»

Проте зростання обсягів застосування порошкових матеріалів пов'язано з необхідністю розробки наукових основ концепції підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних ПС ТК спеціальними методами порошкової металургії, що вважаються базисом актуальної комплексної проблеми забезпечення конкурентоспроможності вітчизняних літаків на світовому ринку продажів і послуг.

У розділі проведено огляд та аналіз стану стратегічних і тактичних аспектів проблеми підвищення експлуатаційних характеристик літаків методами порошкової металургії та розроблено їх класифікаційну блок-схему (рис. 2).

Показано, що ці стратегічні й тактичні аспекти проблеми є базовими складовими нового наукового напрямку, що формують концепцію підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних літаків (рис. 3), які є комплексними складовими нового наукового напрямку в створенні сучасних вітчизняних цивільних літаків. На основі проведеного аналізу сформульовано мету і задачі дисертації.

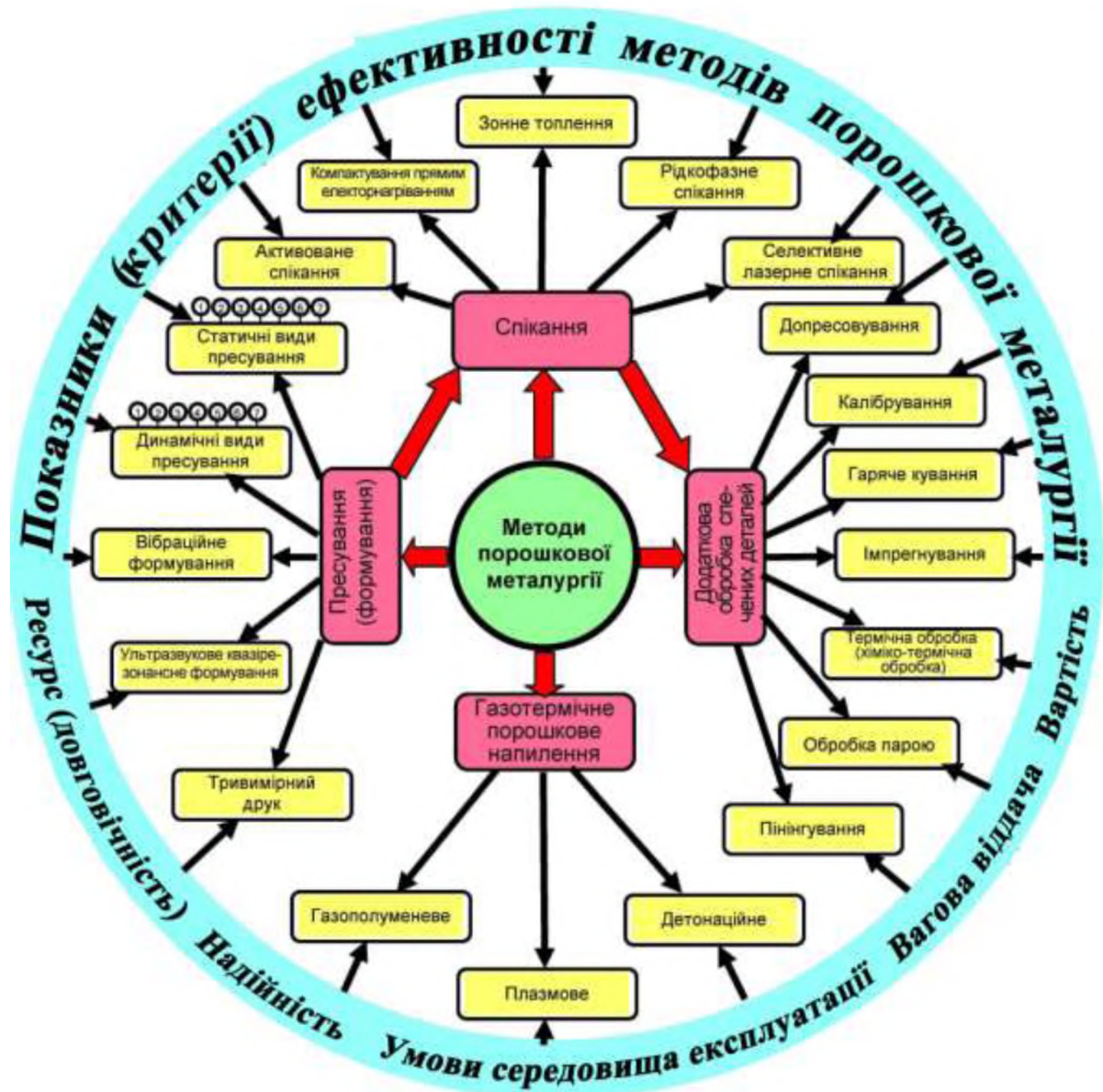


Рисунок 2 – Класифікаційна блок-схема основних методів порошкової металургії, їх складових і показників ефективності при реалізації для підвищення експлуатаційних характеристик конструкції агрегатів літаків

У другому розділі розроблено наукові основи загальної методології оцінки ефективності методів порошкової металургії стосовно до їх використання в агрегатах цивільних літаків, що включають запропонований і реалізований концептуальний підхід до критеріальної оцінки можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаційних конструкцій, формованих методами порошкової металургії; класифікацію експлуатаційних властивостей конструкційних матеріалів, згрупованих у вигляді критеріїв одиничного, групового та комплексного рівнів, об'єднаних в інтегральний критерій, що зумовлює кількісну оцінку ступеня ефективності застосування того чи іншого методу порошкової металургії для формування деталей авіаконструкцій конкретного призначення замість традиційних способів їх

виготовлення; розроблену блок-схему ієрархічної структури критеріїв, відповідну правилу ділення обсягу понять теорії класифікацій (рис. 4).

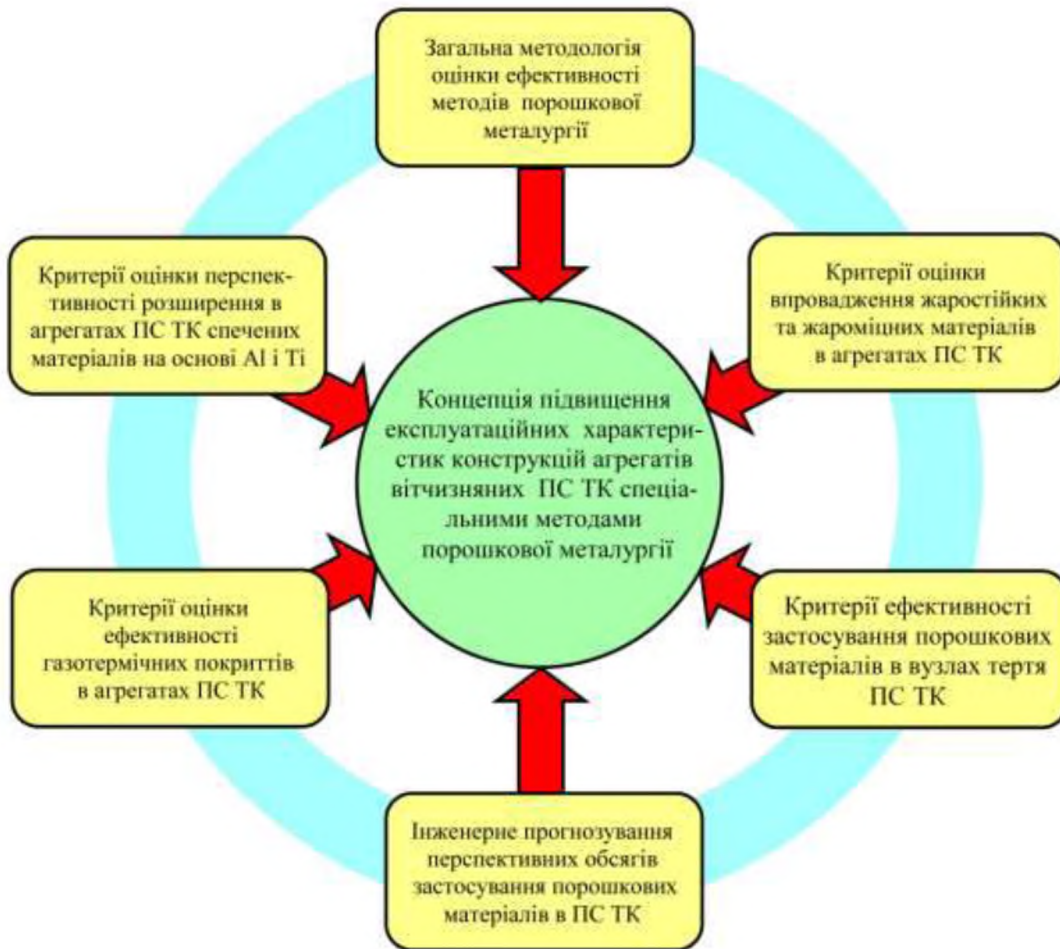


Рисунок 3 – Основні складові концепції підвищення експлуатаційних характеристик конструкції агрегатів вітчизняних цивільних літаків методами порошкової металургії

Кожному з критеріїв блок-схеми рис. 4 відповідає комплекс експлуатаційних характеристик (властивостей), сума яких зумовлює рівень підвищення ефективності об'єкта з того чи іншого матеріалу, отриманого відповідним методом порошкової металургії (МПМ) в порівнянні з базовим (замінним) об'єктом, виготовленим з традиційного матеріалу.

Більшість з виділених вище комплексних критеріїв зумовлюють ефективність заміни матеріалу на одержаний МПМ, якщо сума групових критеріїв, що входять до них, не менше одиниці.

Таким чином,

$$\bar{R}_i(K) = \frac{R_{МПМ i}}{R_{баз i}} \geq 1, K \in (K_{2c}, K_n, K_{як}, K_{техн}, K_{во}) \quad (1)$$

Тут $\bar{R}_i(K)$ - i -й комплексний критерій матеріалу-замінника $R_{МПМ i}$, віднесений до аналогічного критерію базового матеріалу $R_{баз i}$.

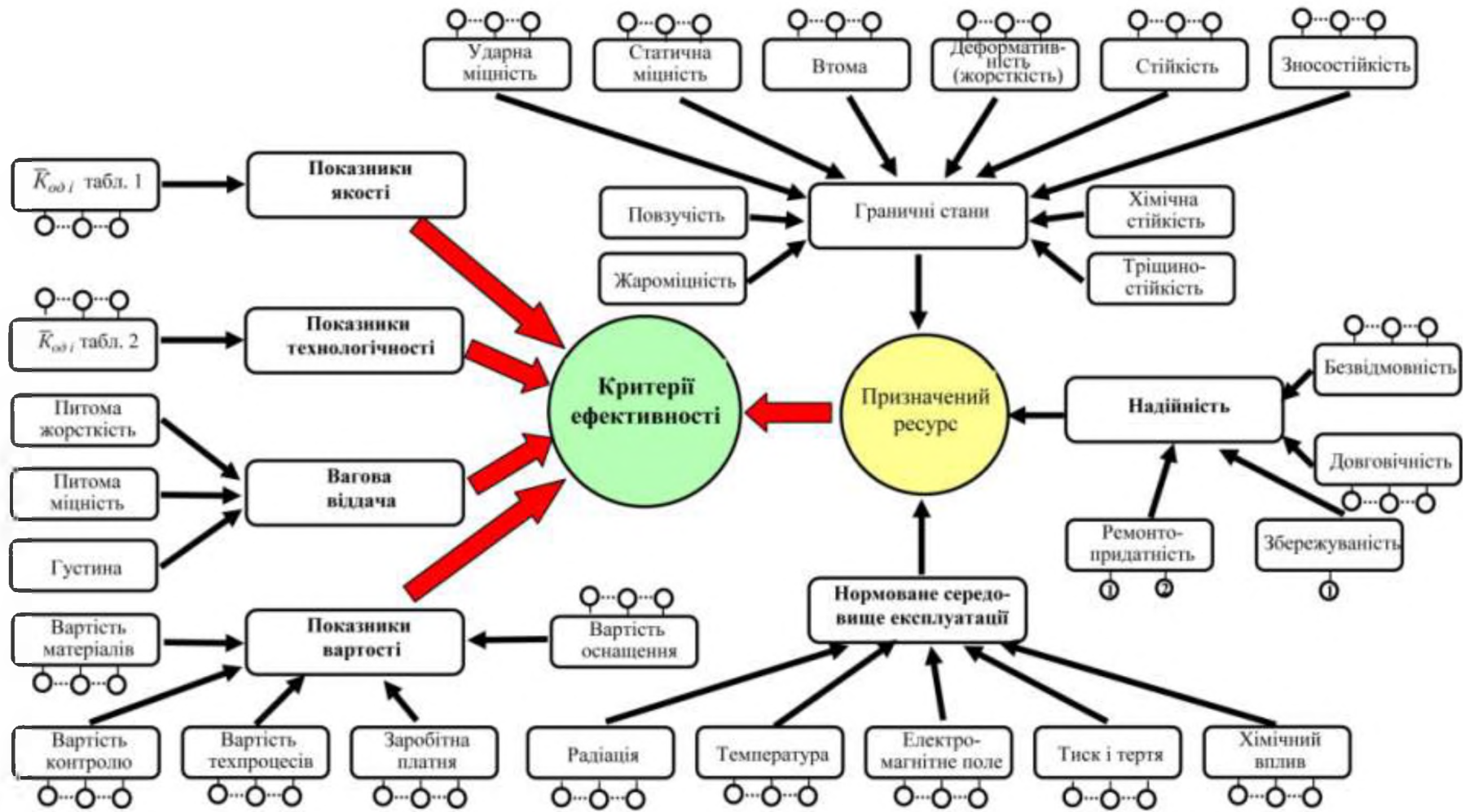


Рисунок 4 - Блок-схема критеріїв ефективності підвищення експлуатаційних характеристик агрегатів літака шляхом раціональної заміни конструкційних матеріалів

○...○ - одиничні критерії, що входять у відповідні групові

Проте, якщо за своїм характером вхідні в замінний матеріал складові комплексного критерію при своєму зниженні забезпечують підвищення ефективності (зростання) комплексного критерію, то відносний комплексний критерій такої заміни має відображатися зворотною по відношенню до (1) залежністю.

Повна критеріальна оцінка ефективності заміни матеріалу на одержаний МПМ визначиться залежністю

$$\bar{K}_{інт} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \bar{R}_{i\text{компл}} (\bar{K}_i) > 1, \quad (2)$$

де $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$, $\bar{R}_{i\text{компл}}$ - відносні комплексні критерії, α_i - коефіцієнти значущості відповідних експлуатаційних характеристик матеріалу, які визначаються експертним шляхом прийняття рішень.

Вхідні в (2) відносні комплексні критерії $\bar{R}_{компл}$ включають в себе як складові відповідні відносні групові

$$\bar{K}_{компл} = \sum_{i=1}^m \bar{R}_{сп i} \beta_i, \quad (3)$$

де $\sum_{i=1}^m \beta_i = 1$, β_i - коефіцієнти значущості відповідних критеріїв $\bar{K}_{сп i}$.

В свою чергу $\bar{K}_{сп i}$ включають в себе одиничні $\bar{K}_{од i}$.

$$\bar{K}_{сп i} = \sum_{i=1}^r \bar{R}_{од i} \gamma_i, \quad (4)$$

де $\sum_{i=1}^r \gamma_i = 1$, γ_i - коефіцієнти значущості відповідних критеріїв $\bar{K}_{од i}$.

Розроблений концептуальний підхід і блок-схема, що його реалізує, дозволяють здійснити критеріальну оцінку можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей агрегатів авіаційних конструкцій, формованих методами порошкової металургії. Реалізація цього підходу на ранніх етапах освоєння цих методів дозволяє прогнозувати перспективність застосування у вітчизняних цивільних літаках спечених матеріалів, які забезпечують зниження їх маси, підвищення ресурсу та інших факторів.

Запропоновано метод часткового розширення повноти критеріальної оцінки ефективності використання спечених порошкових матеріалів в деталях агрегатів авіаційних конструкцій, реалізований для спечених порошкових матеріалів на основі алюмінієвих і титанових сплавів. Цей метод як складова частина загальної наукової концепції дозволяє послідовно, в міру накопичення даних про властивості порошкових сплавів-замінників, розширювати до потрібного ступеня повноти й достовірності область ефективного впровадження спечених порошкових алюмінієвих і титанових сплавів, охоплюючи необхідну номенклатуру деталей як за окремими найбільш важливими комплексними критеріями для тих чи інших умов експлуатації, так і по-

ступового наближення в прогнозах до інтегрального критерію багаторівневої критеріальної оцінки.

Часткове розширення повноти критеріальної оцінки ефективності використання спечених матеріалів проводиться в межах одного або декількох комплексних критеріїв і визначається формулою (2). Для прикладу в таблиці 1 наведені показники часткової повноти заміни деформованого алюмінієвого сплаву Д16 на спечений порошковий матеріал САП-3 за комплексним критерієм «Граничні стани» блок-схеми рис. 4.

Таблиця 1 – Показники часткової повноти заміни деформованого алюмінієвого сплаву Д16 на спечений порошковий матеріал САП-3 за комплексним критерієм «Граничні стани»

Групові критерії	Статична міцність		Деформативність		Жаростійкість	Хімічна стійкість	Втома	Ударна міцність		Тріщиностійкість		Границя тривалої міцності
	$\sigma_{0.2}$ МПа	$\sigma_{0.2T}$ МПа	E ГПа	$\delta_{0.2}$ %	T_{max} °C	Корозійна стійкість, бал		$\sigma_{0.2}$ МПа	KCU (a, l), Дж/м ²	KCT (a_m, l), Дж/м ²	K_I	
Одиничні критерії (характеристики)												
Деформований сплав Д16, $K_{уд}^{Д16}$	425	275	68,5	11	80	2	78,69	17,6	6,9	2,6	397	45
Спечений порошковий матеріал САП-3, $K_{уд}^{САП-3}$	343	294	77	11	500	4	113	6,9	3,4	2,2	447	90
$K_{уд} = \frac{K_{уд}^{САП-3}}{K_{уд}^{Д16}}$	0,807	1,07	1,132	1	6,25	2	1,448	0,392	2,029	0,846	1,126	2
γ_i	0,5	0,5	0,3	0,7	1	1	1	0,5	0,5	0,6	0,4	1
$\gamma_i K_{уд i}$	0,404	0,54	0,34	0,7	6,25	2	1,448	0,2	1,02	0,507	0,45	2
$R_{уд i} = \sum \gamma_i K_{уд i}$	0,944		1,04		6,25	2	1,448	1,22		0,957		2
β_i	0,25		0,2		0,05	0,1	0,1	0,1		0,1		0,1
$\sum \beta_i K_{уд i}$	0,236		0,208		0,313	0,2	0,145	0,122		0,096		0,2
$\bar{R}_{уд}$	1,52 > 1											

У третьому розділі проведено аналіз загальних характеристик матеріалів триботехнічного призначення, що становлять антифрикційний і фрикційний підкласи, з метою виявлення видів їх складів і експлуатаційних властивостей.

Вперше синтезовано класифікаційну схему основних видів складів антифрикційних матеріалів, що включає ливарні сплави і спечені матеріали, а також групи і підгрупи цих підкласів, які відрізняються значеннями експлуатаційних характеристик, що реалізуються у відповідних умовах експлуатації пар тертя (рис. 5).

Вперше розроблено блок-схему формування основних експлуатаційних характеристик антифрикційних матеріалів, що включає основні і додаткові функціональні антифрикційні властивості, які забезпечують регламентовані режими роботи відповідних пар тертя, а також 12 взаємопов'язаних комплексних властивостей, які формують ті чи інші групові та одиничні характеристики (рис. 6).

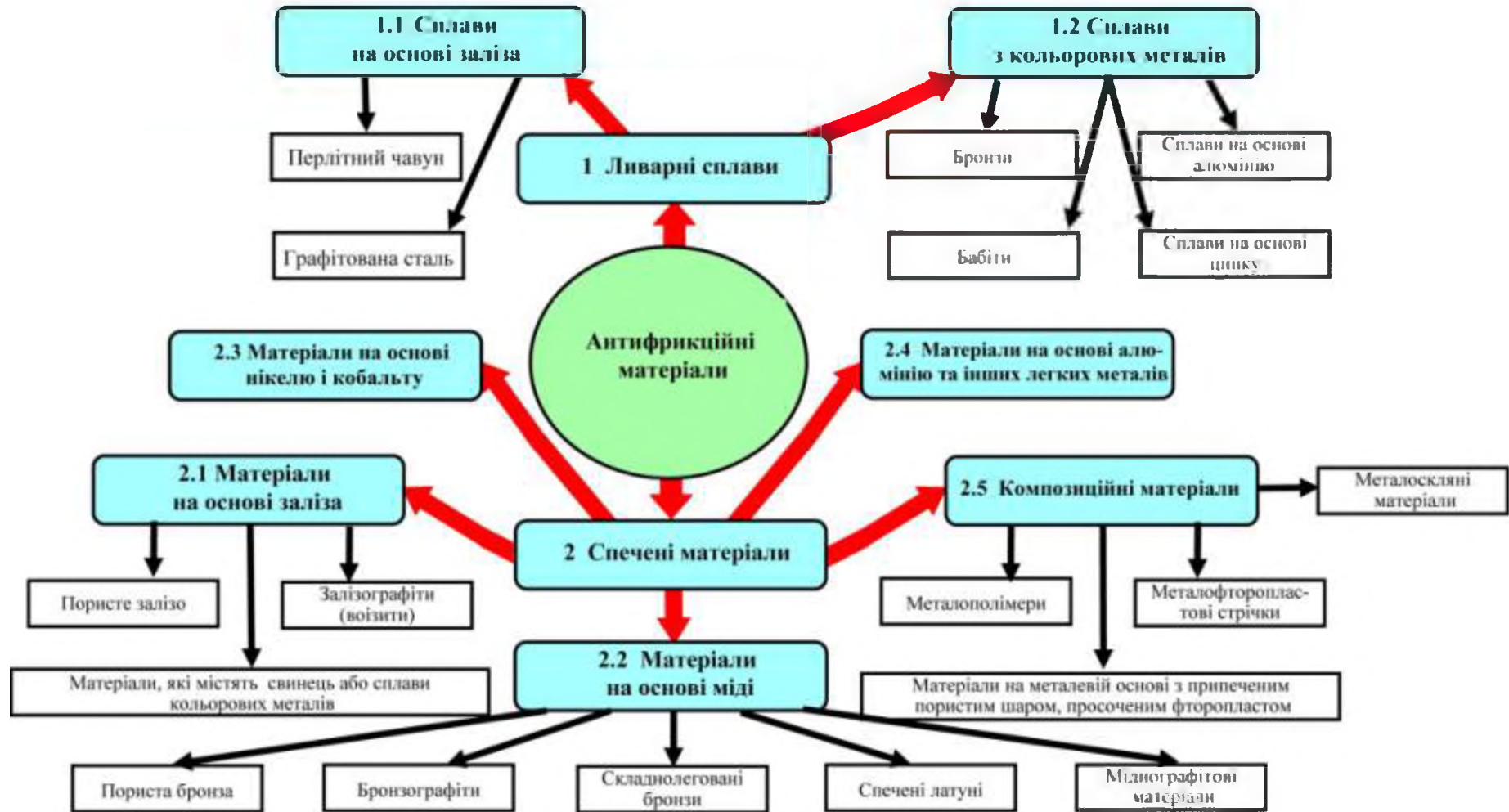


Рисунок 5 – Класифікаційна схема основних видів складів антифрикційних матеріалів

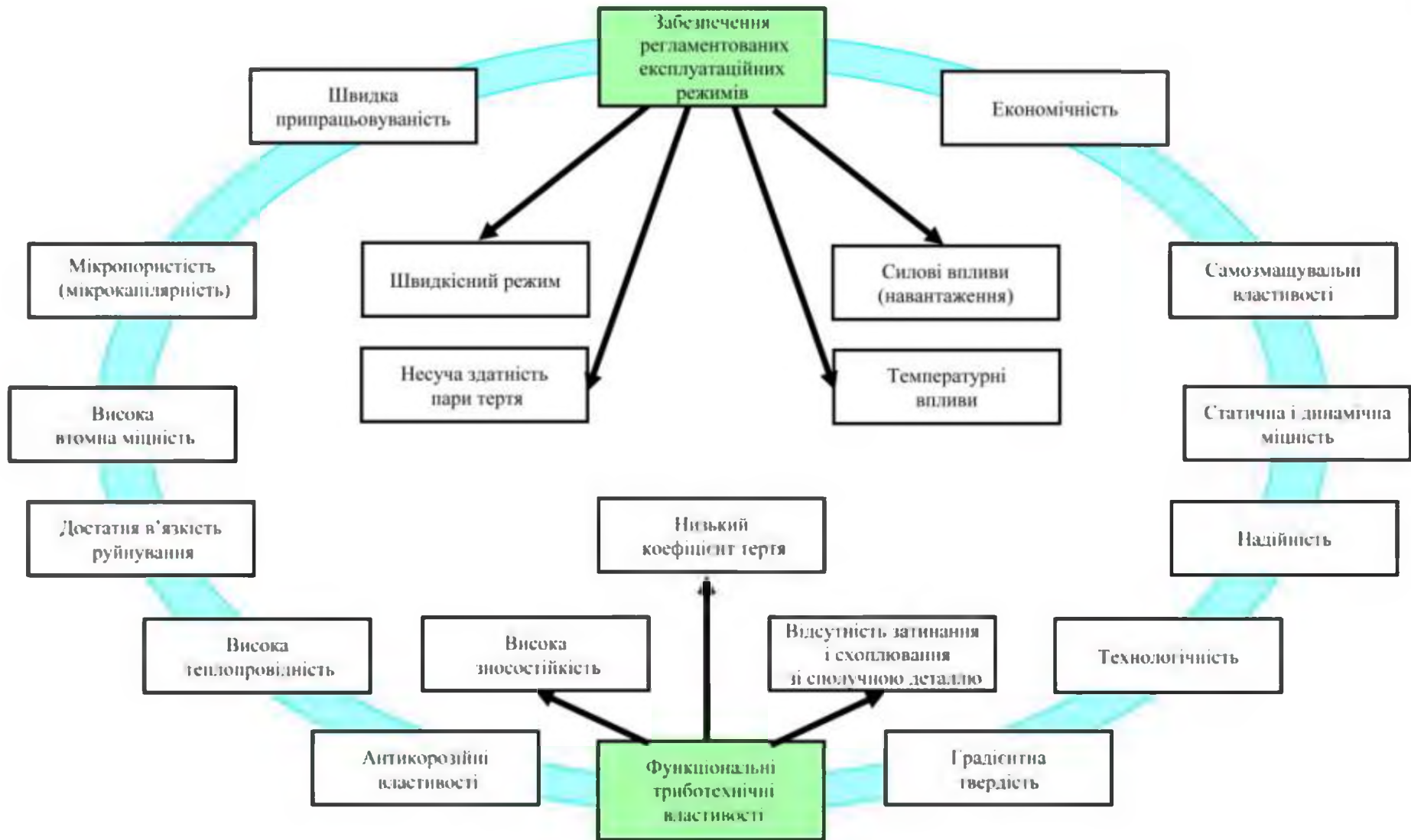


Рисунок 6 – Блок-схема формування основних експлуатаційних характеристик антифрикційних матеріалів

Відповідні класифікаційні складові експлуатаційних характеристик узгоджені з відносними критеріями ефективності антифрикційних триботехнічних матеріалів пар тертя, чисельне визначення яких реалізовано в межах запропонованого раніше концептуального підходу до критеріальної оцінки можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаконструкцій і методу послідовного розширення їх повноти, зумовленого сформульованими цілями заміщення базових антифрикційних матеріалів. Синтезовано класифікаційну схему основних видів складів фрикційних матеріалів, що включає ливарні сплави і спечені матеріали, матеріали на основі азбесту і композити, а також групи цього підкласу, що відрізняються значеннями експлуатаційних характеристик, які реалізуються у відповідних умовах експлуатації пар тертя, а також блок-схему формування основних експлуатаційних характеристик фрикційних матеріалів, що включає 16 взаємопов'язаних комплексних властивостей, які формують ті чи інші групові та одиничні характеристики (рис. 7).

У четвертому розділі проведено аналіз ефективності іонно-плазмових і газотермічних покриттів деталей агрегатів літака та зроблена їх критеріальна оцінка. Виконано аналіз і синтез структурних особливостей формувань вакуумних іонно-плазмових покриттів, що реалізують експлуатаційні характеристики, які відносяться до групових критеріїв комплексного критерію «Граничні стани»: зносостійкість, конструкційна міцність, що включає надійність, та хімічна стійкість (корозійна стійкість і фретингостійкість). Потрібний рівень цих характеристик формується при виконанні вимог, представлених в блок-схемі рис. 8. Схему процесів формування іонно-плазмових покриттів із заданим рівнем експлуатаційних властивостей наведено на рис. 9.

На основі дослідження фазового складу, текстури, залишкових напружень і характеристик субструктури багатокomпонентних покриттів встановлено кристалохімічні закономірності формування в них нанокристалічних структурних станів, що мають високі корозійно-зносостійкі властивості: додавання легуючих атомів, які дають фази проникнення, ізоморфні з фазами проникнення основного компоненту і відрізняються параметром ґратки менше, ніж на 10 %, призводить до формування дисперсної структури багатокomпонентних покриттів. Розроблено багатокomпонентне покриття $Zr-Nb-N-C$ з дисперсною структурою (3...5 нм), що складається на 80...90 % з фази з ґраткою типу $NaCl$ на основі ZrN .

Проведено аналіз можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаконструкцій із захисними порошковими покриттями, які наносяться газотермічними методами, схема складу переваг яких показана на рис. 10. В таблиці 2 наведено переліки цих переваг для газотермічних методів.

Критеріальні оцінки ефективності підвищення експлуатаційних характеристик газотермічними методами здійснюються за 8 комплексними критеріями (рис. 4), що формуються за входними до них груповими та одиничними критеріями. Рівень ефективності реалізації конкретного газотермічного методу для певного покриття Q визначається як

$$Q = \sum_{i=1}^m b_i \eta_i, \quad (5)$$

де η_i - значення i -ої переваги, виражене експертом в балах, скоординованих за рів-

нями їх реалізації для конкретного методу напилення; b_i - коефіцієнт вагомості i -ої переваги за експертною оцінкою; m - число переваг відповідного методу напилення покриття.

Ефективність методу визначиться максимальним значення Q_{\max} .

Таблиця 2 – Переваги газотермічних методів нанесення захисних покриттів

1 Переваги газополуменевого методу напилення $\eta_{ГПi}$	
$\eta_{ГП1}$	Висока продуктивність процесу
$\eta_{ГП2}$	Локальність обробки поверхні покриття
$\eta_{ГП3}$	Слабкий вплив параметрів процесу на підкладку
$\eta_{ГП4}$	Можливість нанесення покриття на більші розміри поверхні виробу
$\eta_{ГП5}$	Відсутність регламентів сполучення матеріалів покриття й підкладки
2 Переваги плазмового методу напилення $\eta_{Пi}$	
$\eta_{П1}$	Висока продуктивність процесу
$\eta_{П2}$	Широкі можливості гнучкого регулювання процесу напилення його параметрами
$\eta_{П3}$	Регулювання в широких межах якості покриття
$\eta_{П4}$	Високий КВМ до 0,8
$\eta_{П5}$	Можливість комплексної механізації й автоматизації процесу напилення
$\eta_{П6}$	Широка доступність методу
$\eta_{П7}$	Економічність процесу напилення
3 Переваги детонаційного методу напилення $\eta_{Дi}$	
$\eta_{Д1}$	Висока якість напилених покриттів з пористістю $\Pi \leq 1$ %.
$\eta_{Д2}$	Висока міцність зчеплення покриття з матеріалом підкладки
$\eta_{Д3}$	Можливість напилення покриття на виріб при низькотемпературному нагріванні $T_{\text{вир}} \leq 200$ °С
$\eta_{Д4}$	Помірне нагрівання виробу під час напилення покриття $T_{\text{вир}} \leq 250$ °С
$\eta_{Д5}$	Висока продуктивність процесу напилення
$\eta_{Д6}$	Широка номенклатура матеріалів, що напилюються
$\eta_{Д7}$	Низька чутливість до стану вихідної поверхні підкладки

У п'ятому розділі проведено аналіз ефективності порошкових матеріалів і покриттів у вузлах тертя вітчизняних літаків.

В результаті виконаних досліджень встановлено, що нанесення молібденових покриттів електроіскровим способом дозволяє на порядок підвищити зносостійкість та фретингостійкість титанових сплавів (таблиці 3, 4), при цьому змінюється механізм зношування з адгезійного на окиснювальний. Нанесення молібденового покриття за розробленим режимом не призводить до структурних змін в матеріалі підкладки.

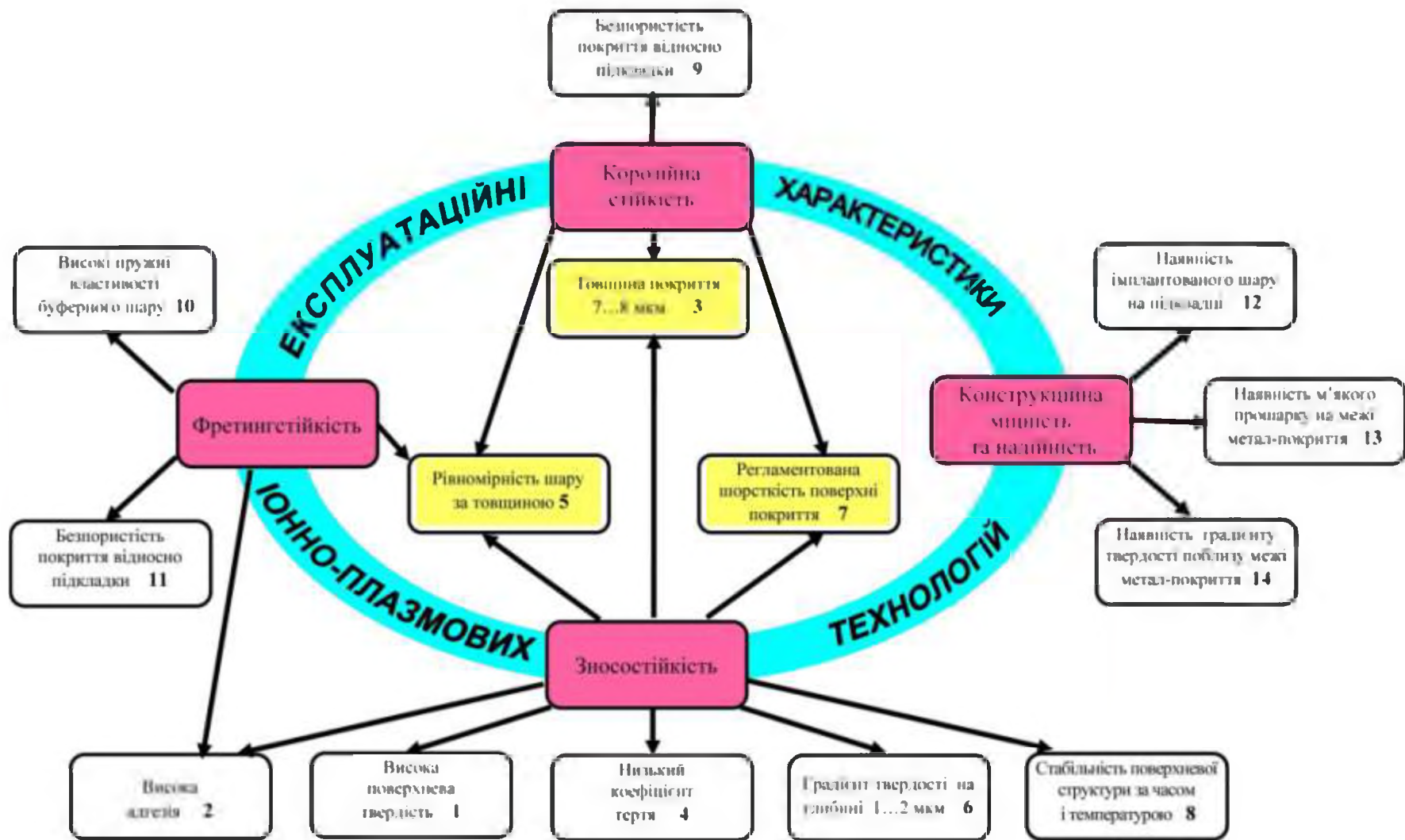


Рисунок 8 – Блок-схема формування основних експлуатаційних характеристик іонно-плазмових покриттів функціонального призначення

Встановлено також проходження дифузійних процесів і фазових змін в покритті в процесі тертя та показана можливість використання електроіскрових молібденових покриттів для трибовузлів з титанових сплавів для літаків.

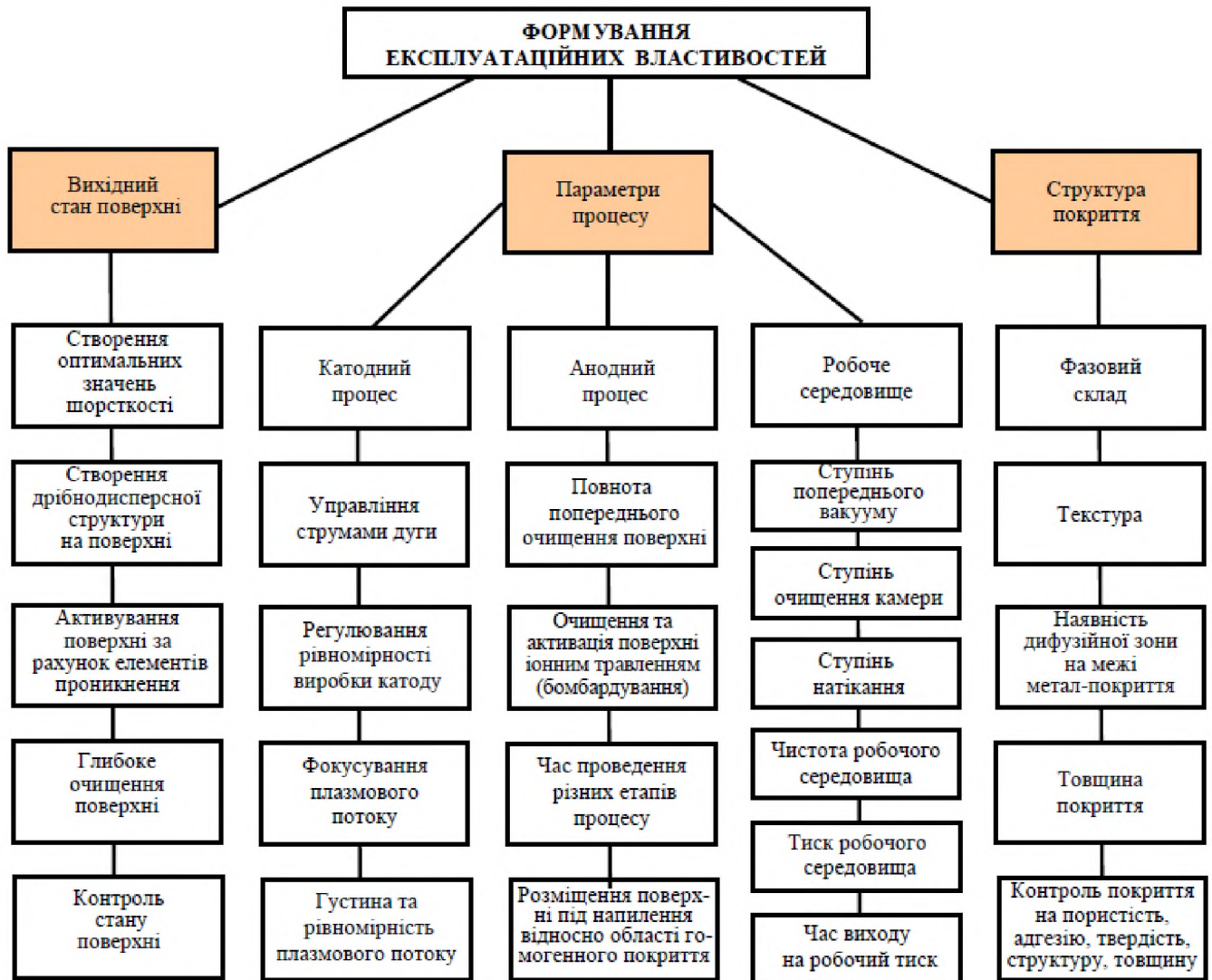


Рисунок 9 – Схема процесу формування іонно-плазмових покриттів із заданим рівнем експлуатаційних властивостей

Таблиця 3 – Зносостійкість покриттів на титановому сплаві BT22

Покриття	Без покриття	ДЕХО	ВКНА	N_2	ПГ10Н-01	$TiB_2 - NiMo$	Ni	Cr	Mo
Лінійний знос, мкм/мм	360	158	21,6	14,6	13,9	12,8	12,4	11,2	9,3

Примітка. ДЕХО (дифузійна електрохімічна обробка) і Cr наносили гальванічним способом; ВКНА і ПГ10Н-01 – плазмовим способом; Ni - хімічним способом; N_2 - хіміко-термічна обробка (азотування); $TiB_2 - NiMo$ і Mo - електроіскровим легуванням.

Таблиця 4 – Фретингостійкість покриттів на титановому сплаві BT22

Покриття	Без покриття	ДЕХО	ВКНА	N_2	ПГ10Н-01	$TiB_2 - NiMo$	Ni	Cr	Mo
Знос, мкм	212	196	31,2	14,6	26,9	19	28,4	12,2	11,7

Досліджена також зносостійкість покриттів на основі карбіду вольфраму $WC-Co-Cr$. Встановлено, що покриття з $WC-Co-Cr$, яке наноситься високошвидкісним газополуменевим методом HVOF, має твердість вище, ніж у гальванічного хрому, і становить 10 640...12 870 МПа. Механічна обробка покриття $WC-Co-Cr$ за відпрацьованими режимами дозволяє отримати шорсткість $0,1 < Ra < 0,2$.

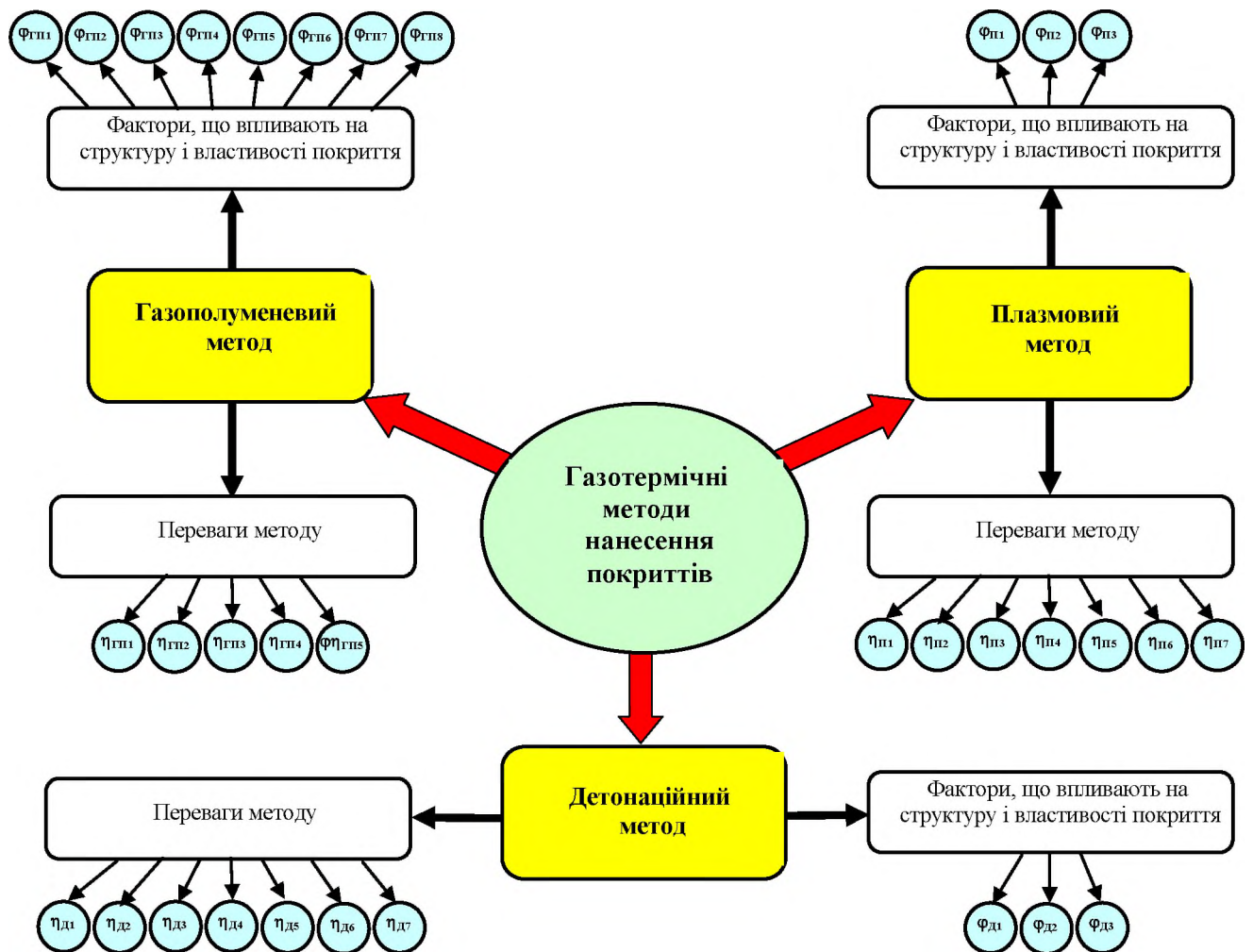


Рисунок 10 – Схема переваг газотермічних методів нанесення захисних покриттів і факторів, що впливають на їх структуру і властивості

На рис. 11 показано мікроструктуру покриття $WC-Co-Cr$, нанесеного методом HVOF на циліндричні зразки зі сталі 30ХГСН2МА-ВД.

Зведені результати досліджень властивостей покриттів наведено в таблиці 5. Для порівняння: гальванічний хром має твердість 8 000...10 000 МПа, товщину 48...80 мкм.

Таблиця 5 – Результати дослідження властивостей покриття $WC-Co-Cr$, нанесеного методом HVOF

№ зразка	Матеріал покриття	Мікротвердість покриття, МПа	Навантаження при вимірах P , г	Пористість покриття, %	Товщина покриття, мкм
1	$WC-Co-Cr$	10 640...12 870	100	4	60...250
2		12 000	50	1...2	200...325
3		12 000	50	0,5...1	275...350



×100

Рисунок 11 – Мікроструктура покриття $WC-Co-Cr$, нанесеного методом HVOF на сталь 30XGCH2MA-BD з термічною обробкою на $\sigma_s = 1600...1850$ МПа, з подальшою механічною обробкою покриття (шліфування)

Показано та експериментально підтверджено високу ефективність застосування композиційних металокерамічних і металополімерних матеріалів для вузлів тертя вітчизняних цивільних літаків (рис. 12, 13).

Проведено металографічні дослідження заготовок втулок з антифрикційного матеріалу БФГ-50М, які виявили відповідність мікроструктури матеріалу технічним вимогам.

Спечені втулки 40-18-ОСТ1 00287-78 з матеріалу БФГ-50М витримали без зауважень комплекс випробувань в обсязі вимог ОСТ1 00536-78 (рис. 13, б). На підставі результатів металографічних досліджень і позитивних результатів випробувань за програмою ОСТ1 00536-78 спечені втулки з матеріалу БФГ-50М рекомендовані для заміни деяких суцільнотягнутих втулок з металофторопласту.

Узагальнено досвід застосування металокерамічних і металополімерних матеріалів у вузлах тертя авіаційної техніки, наведено їх характеристики та умови експлуатації.

Проведено аналіз можливості утилізації дисперсних відходів механічної обробки конструкційних вуглепластиків шляхом їх використання як наповнювача зносостійких «вторинних» композитів з епоксидною матрицею. Випробування показали, що такий наповнювач при концентрації 18 % (мас.) дозволяє композиту працювати в парі тертя зі сталлю при швидкості ковзання 0,5 м/с і навантаженні до 6 МПа, а у водному середовищі - при швидкості 0,5 м/с і навантаженні 8 МПа.

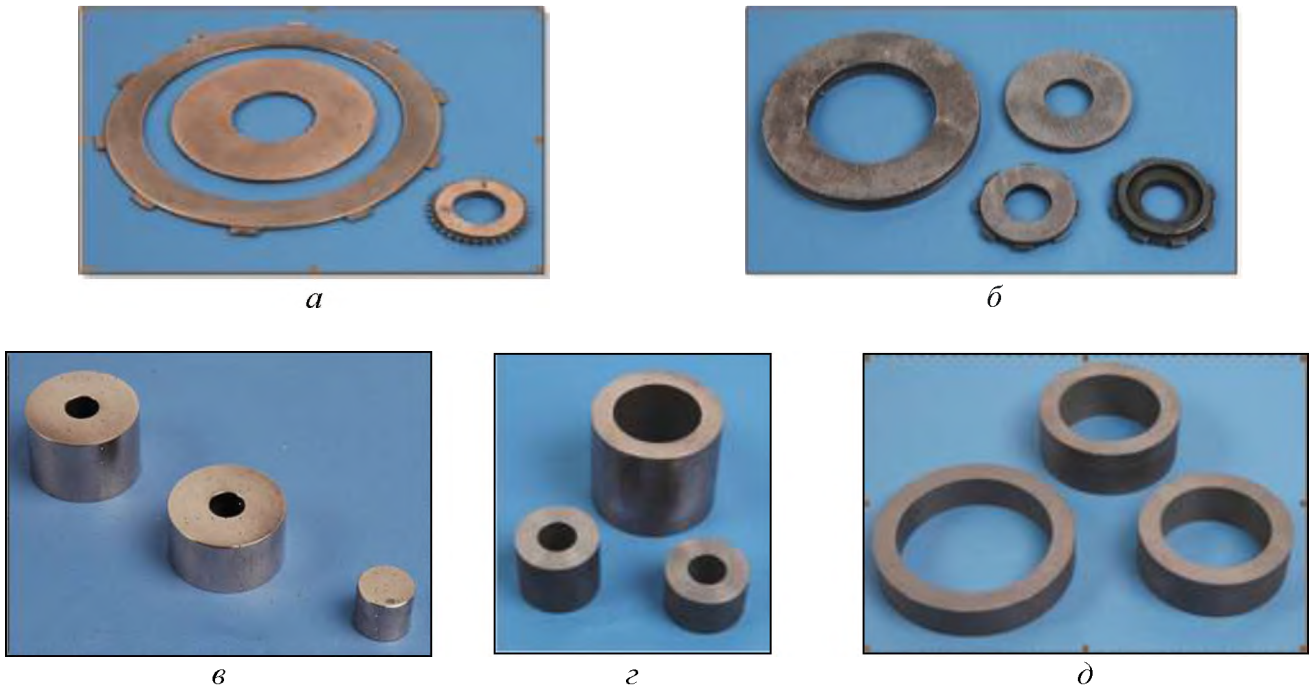


Рисунок 12 – Металокерамічні заготовки деталей з фрикційними матеріалами ФМКМ-1 (а), ФМК-79 (б) та із антифрикційних матеріалів АМК-1 (в), АМК-4 (г), АМК-5 (д)

У шостому розділі одержала подальший розвиток проблема інженерного прогнозування ефективних обсягів впровадження матеріалів порошкової металургії в конструкціях агрегатів ПС ТК в сучасних умовах недостатнього інформаційного забезпечення.

Показано, що основними передумовами інженерного прогнозування зростання обсягів впровадження порошкових конструктивних елементів (ПКЕ) є достатня номенклатура порошкових матеріалів, технологій їх формування спеціальним обладнанням при наявності потреби розробника ПС ТК в зростанні обсягів застосування цього класу матеріалів, що зумовлюється її економічною доцільністю.



Рисунок 13 – Заготовки гайок (а) та втулки (б) без фланцю (зліва) і з фланцем (справа) з матеріалу БФГ-50М

Обґрунтовано правомірність використання методології інженерного прогнозування обсягів застосування ПКМ в агрегатах ПС ТК, яка формується на базі запропо-

нованої генеральної визначальної таблиці (ГВТ), системи основних факторів, що зумовлюють обсяг впровадження ПКМ, та інших складових цієї системи прогнозування.

На основі цієї системи розроблено принципову схему складу комплексу прогнозування обсягів впровадження порошкових конструктивних елементів (ПКЕ) в агрегатах літака, інформаційне насичення якого в перспективі має забезпечити якість і точність цього прогнозу (рис. 14).

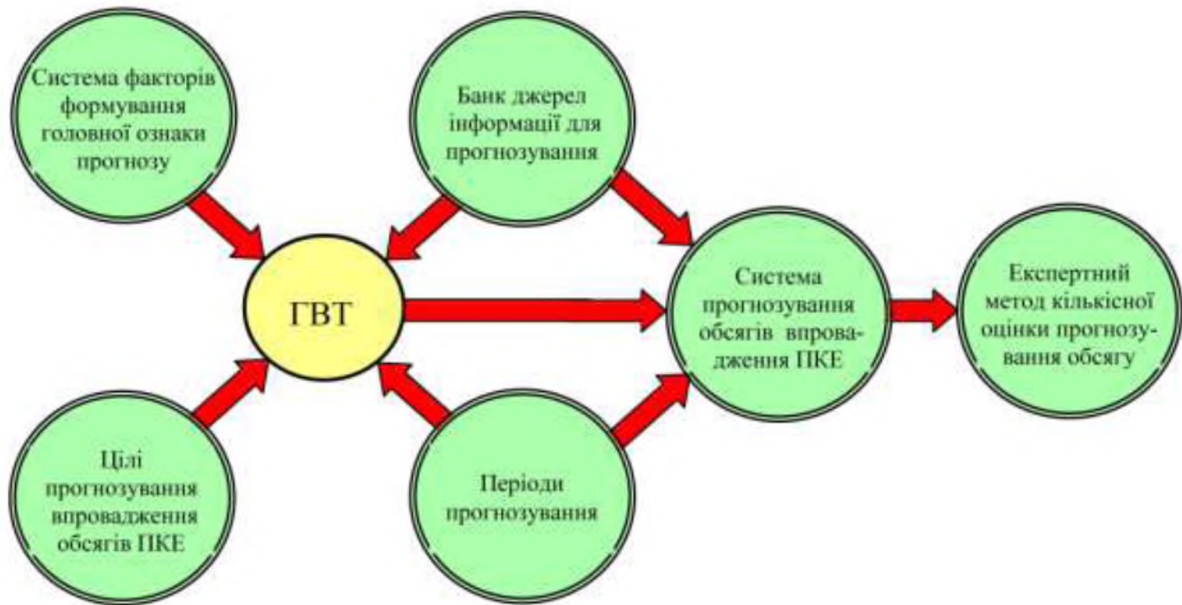
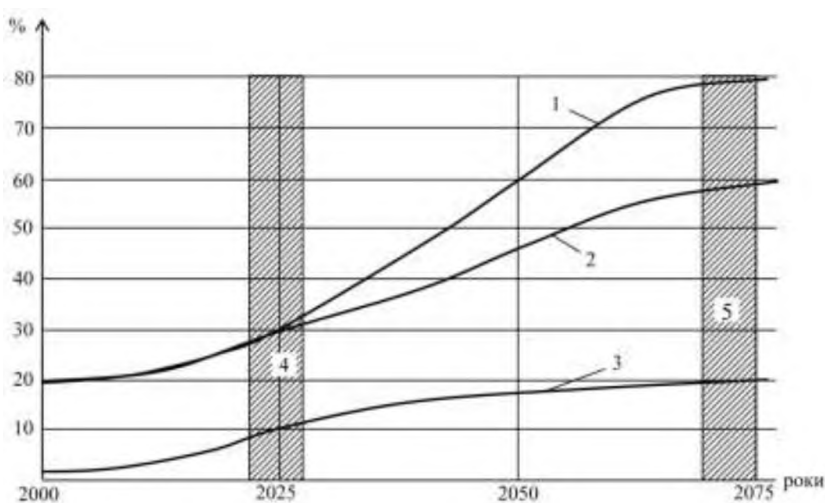


Рисунок 14 – Принципова схема системи інженерного прогнозування обсягів впровадження ПКЕ в ПС ТК

Встановлено та обґрунтовано гіпотетичний характер формування довгострокових прогнозів зростання обсягів паралельного впровадження ПКМ і ПКЕ в агрегатах ПС ТК як ефективного способу підвищення їх експлуатаційних характеристик в сучасних умовах (рис. 15).



- 1 – обсяги впровадження ПКМ без урахування зростання обсягів ПКЕ;
- 2 – обсяги впровадження ПКМ з урахуванням зростання обсягів ПКЕ;
- 3 – обсяги впровадження ПКЕ з урахуванням зниження обсягів зростання ПКМ;
- 4 – зона початку впливу зростання обсягів ПКЕ на зниження обсягів зростання ПКМ;
- 5 – зона стабілізації обсягів зростання ПКМ і ПКЕ

Рисунок 15 – Гіпотетичний характер формування довгострокових прогнозів зростання обсягів паралельного впровадження ПКМ і ПКЕ в агрегатах ПС ТК

Викладено результати впровадження і використання матеріалів дисертації на провідних підприємствах авіакосмічної галузі України та у вищих навчальних закладах, що підтверджено відповідними актами (рис. 16).

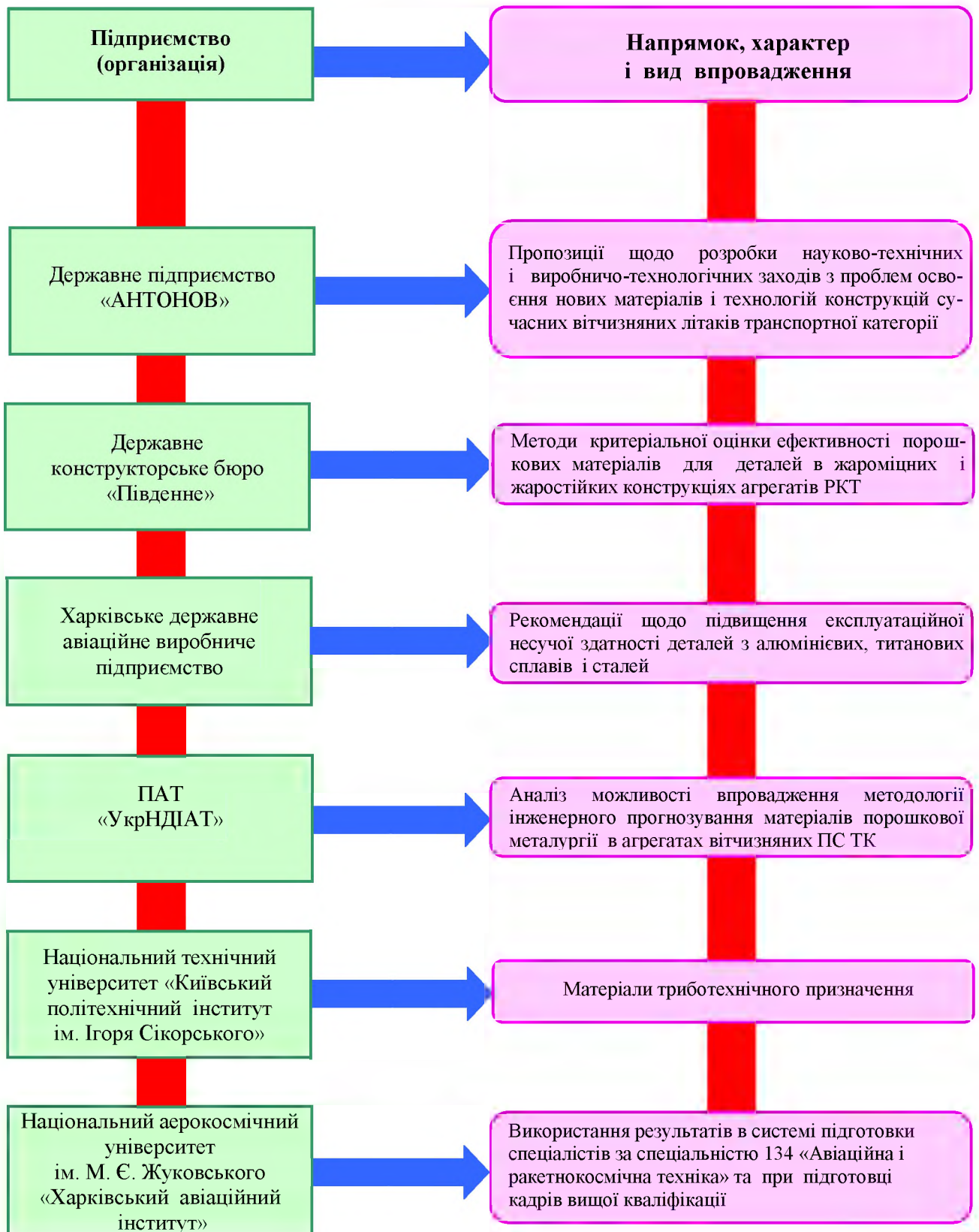


Рисунок 16 – Інформативна схема впровадження результатів дисертації

ВИСНОВКИ

Поставлена мета дисертаційної роботи досягнута в повному обсязі: вирішено науково-технічну проблему підвищення вагової ефективності, надійності та інших льотно-технічних характеристик вітчизняних цивільних літаків транспортної категорії, що забезпечують їх високу конкурентоспроможність на міжнародному ринку продажів і послуг шляхом розробки наукових основ концепції підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних цивільних літаків методами і засобами порошкової металургії.

1. Проведено огляд і аналіз світових тенденцій розвитку цивільних літаків транспортної категорії, який виявив шляхи підвищення ефективності агрегатів літаків розглянутого класу шляхом збільшення обсягу застосування в планері літака ПКМ, а також нових матеріалів і технологій порошкової металургії. Розкриті ймовірні причини цього зростання: перманентне збільшення функціональних властивостей порошкових матеріалів і їх номенклатури, посилення ролі наукового забезпечення засобами інформаційних і комп'ютерних технологій, а також ефективних КТР. Сформульовано мету і задачі дослідження.

2. Вперше розроблено наукові основи загальної методології оцінки ефективності методів порошкової металургії, адаптованих до використання в агрегатах цивільних літаків, що включають запропонований і реалізований концептуальний підхід до критеріальної оцінки можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаційних конструкцій, які формуються методами порошкової металургії; класифікацію експлуатаційних властивостей конструкційних матеріалів, згрупованих у вигляді критеріїв одиничного, групового та комплексного рівнів, об'єднаних в інтегральний критерій, що зумовлює кількісну оцінку ступеня ефективності застосування того чи іншого методу порошкової металургії для формування деталей авіаційних конструкцій конкретного призначення замість традиційних способів їх виготовлення; розроблену блок-схему ієрархічної структури критеріїв, відповідну правилу ділення обсягу понять теорії класифікацій.

2.1. Запропоновано метод послідовного розширення повноти критеріальної оцінки ефективності використання спечених порошкових матеріалів в деталях агрегатів авіаконструкцій, реалізований для спечених порошкових матеріалів на основі алюмінієвих і титанових сплавів. Цей метод як складова частина загальної наукової концепції дозволяє послідовно, в міру накопичення даних про властивості порошкових сплавів-замінників, розширювати до потрібного ступеня повноти і достовірності область ефективного впровадження спечених порошкових алюмінієвих і титанових сплавів, охоплюючи необхідну номенклатуру деталей як за окремими найбільш важливими комплексними критеріями для тих чи інших умов експлуатації, так і поступового наближення в прогнозах до інтегрального критерію багаторівневої критеріальної оцінки.

2.2. Реалізація запропонованого підходу і методу послідовного розширення повноти критеріальної оцінки методів порошкової металургії у виробництві вітчизняних цивільних літаків дозволяє підвищити їх конкурентоспроможність на світовому ринку продажів і послуг.

3. Вперше синтезовано класифікаційні схеми основних видів складів антифрикційних і фрикційних матеріалів, що включають ливарні сплави і спечені матеріали, а також групи і підгрупи цих підкласів, які відрізняються значеннями експлуатаційних характеристик, що реалізуються у відповідних умовах експлуатації пар тертя.

Вперше розроблено блок-схеми формування основних експлуатаційних характеристик антифрикційних і фрикційних матеріалів, що містять основні та додаткові функціональні триботехнічні властивості, які забезпечують регламентовані режими роботи відповідних пар тертя, а також взаємопов'язані комплексні властивості, що формують ті чи інші групові та одиничні характеристики.

Відповідні класифікаційні складові експлуатаційних характеристик узгоджено з відносними критеріями ефективності антифрикційних триботехнічних матеріалів пар тертя, чисельне визначення яких реалізовано в межах запропонованого раніше концептуального підходу до критеріальної оцінки можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаконструкцій і методу послідовного розширення їх повноти, зумовленого сформульованими цілями заміщення базових триботехнічних матеріалів.

4. Розроблено методику та проведено критеріальну оцінку ефективності іонно-плазмових і газотермічних порошкових покриттів деталей.

На основі дослідження фазового складу, текстури, залишкових напружень і характеристик субструктури багатокомпонентних іонно-плазмових покриттів встановлено кристалохімічні закономірності формування в них нанокристалічних структурних станів з високими корозійно-зносостійкими властивостями, що дають фази проникнення, які ізоморфні з фазами проникнення основного компоненту і відрізняються параметром ґратки менше, ніж на 10 %, що призводить до формування дисперсної структури багатокомпонентних покриттів.

Проведений аналіз можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей авіаконструкцій з захисними порошковими покриттями, що наносяться газотермічними методами, встановив, що експлуатаційні характеристики деталей авіаконструкцій з газотермічними покриттями можуть оцінюватися критеріями, запропонованими в межах концептуального підходу до критеріальної оцінки, що включають одиничні, групові, комплексні рівні, які складають інтегральний критерій ефективності. При цьому з кожного рівня цих критеріїв можуть бути виключені ті чи інші складові, які не є визначальними (характерними) для виробів розглянутого класу.

5. Проведено аналіз, який розкрив ефективність порошкових матеріалів для вузлів тертя вітчизняних літаків:

- в результаті виконаних досліджень встановлено, що нанесення молібденових покриттів електроіскровим способом дозволяє на порядок підвищити зносостійкість титанових сплавів, при цьому змінюється механізм зношування з адгезійного на окиснювальний; нанесення молібденового покриття за розробленим режимом не призводить до структурних змін в матеріалі підкладки;

- встановлено, що покриття з $WC-Co-Cr$, що наноситься високошвидкісним газополуменевим методом HVOF, має твердість вище, ніж у гальванічного хрому, і становить 10 640...12 870 МПа;

- розроблено технологію виготовлення втулок з антифрикційного матеріалу

БФГ-50М (відповідно до вимог стандарту на металофторопластові втулки), планованого на заміну металофторопластової стрічки (МФЛ), що традиційно використовується на ДП «АНТОНОВ», в плані імпортозаміщення. Технологія включає в себе всі основні етапи формування заготовок методом порошкової металургії і готових деталей з них;

- узагальнено досвід застосування металокерамічних і металополімерних матеріалів у вузлах тертя авіаційної техніки та показано ефективність їх застосування для забезпечення надійності і ресурсу вузлів тертя сучасних цивільних літаків;

Встановлено перспективи ефективної утилізації дисперсних відходів механічної обробки конструкційних вуглепластиків шляхом їх використання як наповнювача зносостійких «вторинних» композитів з епоксидною матрицею.

6. Проведено аналіз і отримало подальший розвиток рішення проблеми інженерного прогнозування ефективних обсягів впровадження матеріалів порошкової металургії в конструкціях агрегатів ПС ТК у сучасних умовах недостатнього інформаційного забезпечення:

- показано, що основними передумовами інженерного прогнозування зростання обсягів впровадження ПКЕ є достатня номенклатура порошкових матеріалів, технологій їх формування засобами спеціального обладнання за наявності потреби розробника ПС ТК в зростанні обсягів застосування цього класу матеріалів, що зумовлюється її економічною доцільністю;

- обґрунтовано правомірність використання методології інженерного прогнозування обсягів застосування ПКМ в агрегатах ПС ТК, яка формується на базі запропонованої генеральної визначальної таблиці, системи основних факторів, що формують обсяг впровадження ПКМ, та інших складових цієї системи прогнозування;

- на основі запропонованої системи розроблено принципову схему складу комплексу прогнозування обсягів впровадження ПКЕ в агрегатах літака, інформаційне насичення якого в перспективі має забезпечити якість і точність цього прогнозу;

- встановлено та обґрунтовано гіпотетичний характер формування довгострокових прогнозів зростання обсягів паралельного впровадження ПКМ і ПКЕ в агрегатах ПС ТК як ефективного способу підвищення їх експлуатаційних характеристик в сучасних умовах.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Конструкционные материалы в самолетостроении / А. Г. Моляр, А. А. Коцюба, А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко. Киев: КВИЦ, 2015. 400 с.

2. Порошковые материалы для авиационной и ракетно-космической техники / А. А. Коцюба, А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко, И. Г. Лавренко. Киев: КВИЦ, 2016. 304 с.

**Статті у збірниках,
що включені до переліку наукових фахових видань України**

3. Бычков А. С. Основные причины разрушения конструктивных элементов воздушных судов транспортной категории из алюминиевых сплавов / А. С. Бычков, И. Р. Игнатович, А. Г. Моляр // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2015. Вып. 70. С. 136 – 151.

4. Вишняков Л. Р. Полимерные износостойкие композиты с наполнителями из порошковых отходов механической обработки углепластиков / Л. Р. Вишняков, В. Н. Морозова, В. П. Мороз, В. Т. Варченко, А. С. Бычков, А. В. Андреев // Технологические системы. 2015. № 4 (73). С. 44 – 51.

5. Бычков А. С. Повышение триботехнических характеристик титановых деталей самолетов / А. С. Бычков // Проблемы трения и износа. 2016. №1 (70). С. 98 – 105.

6. Бычков А. С. Оценка эксплуатационных характеристик втулок из материала БФГ-50М взамен металлофторопласта в узлах трения самолета / А. С. Бычков, Я. И. Лавренко, О. Ю. Нечипоренко, И. М. Ромашко, Ю. Т. Акохов // Вісник машинобудування та транспорту. 2016. № 1 (3). С. 4 – 11.

7. Бычков А. С. Анализ эксплуатационных разрушений металлических конструкций авиационной техники / А. С. Бычков, В. Н. Федирко // Физико-химическая механика материалов. 2016. № 1 (т. 52). С. 14 – 20.

8. Бычков А. С. Эксплуатационная несущая способность деталей конструкций отечественных воздушных судов транспортной категории из титановых сплавов / А. С. Бычков, А. Г. Моляр // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 71. С. 18 – 29.

9. Андреев А. В. Эксплуатационная несущая способность конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов. Часть 1. Общая постановка задачи / А. В. Андреев, А. С. Бычков, А. В. Кондратьев // Вестник Одесского Национального морского университета. 2016. № 1 (47). С. 60 – 68.

10. Андреев А. В. Эксплуатационная несущая способность конструкций отечественных и зарубежных воздушных судов транспортной категории из полимерных композиционных материалов. Часть 2. Анализ видов, характера и частоты эксплуатационных повреждений / А. В. Андреев, А. С. Бычков, А. В. Кондратьев // Вестник Одесского национального морского университета. 2016. № 2 (48). С. 180 – 195.

11. Бычков А. С. Исследование износостойких покрытий на основе карбида вольфрама, наносимых высокоскоростным газопламенным методом HVOF для деталей авиационного назначения / А. С. Бычков, А. А. Коцюба, В. Ю. Потягов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 75. С. 68 – 78.

12. Бычков А. С. Исследование эксплуатационных характеристик втулок из антифрикционного самосмазывающегося материала БФГ-50М, изготовленных

методом порошковой металлургии. Сообщение 1. Технология изготовления. Металлографические исследования заготовок втулок / А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко, И. М. Ромашко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 76. С. 86 – 100.

13. Бычков А. С. Исследование эксплуатационных характеристик втулок из антифрикционного самосмазывающегося материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии. Сообщение 2. Испытание втулок из материала БФГ-50М, изготовленных методом порошковой металлургии / А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко, И. М. Ромашко // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 77. С. 4 – 12.

Статті у наукових спеціальних виданнях, що входять у наукометричні бази даних (Index Copernicus)

14. Бычков А. С. Модели уплотнения и полимеризации препрегов при инфузии пленочного связующего в производстве композитных деталей авиационной техники / А. С. Бычков, А. В. Сапельников // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. / Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2015. Вып. 3 (83). С. 69 – 78.

15. Бычков А. С. О взаимосвязи юридически-правовой поддержки жизненного цикла воздушных судов и проблемы обеспечения безопасности их конструкций / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2015. Вып. 4 (84). С. 79 – 85.

16. Бычков А. С. Основные виды и причины разрушения стальных деталей агрегатов отечественных воздушных судов транспортной категории / А. С. Бычков, А. Г. Моляр // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 1 (85). С. 47 – 61.

17. Бычков А. С. Анализ основных закономерностей изменения свойств вакуумных ионно-плазменных покрытий элементов конструкций от технологических параметров их формирования / А. С. Бычков // Вісник машинобудування та транспорту. 2016. № 2 (4). С. 19 – 28.

18. Бычков А. С. Изменение свойств поверхности деталей на различных этапах формирования вакуумных ионно-плазменных покрытий. Сообщение 1. Неразрушающий контроль поверхностных слоев материала. Изменение состояния поверхности на технологическом этапе предварительной очистки / А. С. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 73. С. 31 – 43.

19. Бычков А. С. Изменение свойств поверхности деталей на различных этапах формирования вакуумных ионно-плазменных покрытий. Сообщение 2. Очистка в тлеющем разряде и при ионной бомбардировке поверхности. Свойства оксидов

при технологическом нагреве / А. С. Бычков // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 74. С. 64 – 77.

20. Бычков А. С. Структура покрытий, формирующихся при конденсации / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 2 (86). С. 26 – 30.

21. Бычков А. С. Изменение фазового состава при формировании монослойных ионно-плазменных титановых покрытий / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 3 (87). С. 91 – 98.

22. Бычков А. С. Изменения структуры и свойств поверхности при формировании монослойных ионно-плазменных титановых покрытий / А. С. Бычков, А. Г. Моляр // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2016. Вып. 4 (88). С. 90 – 104.

23. Бычков А. С. Формирование служебных свойств монослойных ионно-плазменных покрытий нитрида титана / А. С. Бычков, А. Г. Моляр // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 1 (89). С. 51 – 67.

24. Бычков А. С. Обзор и анализ состояния проблемы повышения эксплуатационных характеристик авиакосмической техники специальными методами порошковой металлургии. Сообщение 1. Стратегические аспекты состояния проблемы / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 2 (90). С. 24 – 39.

25. Бычков А. С. Обзор и анализ состояния проблемы повышения эксплуатационных характеристик авиакосмической техники специальными методами порошковой металлургии. Сообщение 2. Тактические аспекты состояния проблемы / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 3 (91). С. 22 – 46.

26. Бычков А. С. Концептуальный подход к критериальной оценке возможностей повышения эксплуатационных характеристик деталей авиаконструкций, формируемых методами порошковой металлургии / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2017. Вып. 4 (92). С. 42 – 54.

27. Бычков А. С. Метод последовательного расширения полноты критериальной оценки эффективности использования спеченных порошковых материалов в агрегатах авиаконструкций. Сообщение 1. Спеченные порошковые материалы на основе алюминия / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2018. Вып. 1 (93). С. 53 – 64.

28. Бычков А. С. Метод последовательного расширения полноты критериальной оценки эффективности использования спеченных порошковых материалов в агрегатах авиаконструкций. Сообщение 2. Спеченные порошковые материалы на основе титана / А. С. Бычков // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2018. Вып. 2 (94). С. 77 – 89.

29. Бычков А. С. Анализ эффективности применения газотермических покрытий / А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко // Технологические системы. 2017. № 4 (81). С. 82 – 90.

30. Бычков А. С. Критерии эффективности замены материалов триботехнического назначения для узлов трения самолетов. Сообщение 1. Общая характеристика материалов триботехнического назначения. Антифрикционные материалы / А. С. Бычков, О. Ю. Нечипоренко // Технологические системы. 2018. № 1 (82). С. 74 – 85.

31. Bychkov A. S. Criteria of effectiveness of replacing materials for tribotechnical purposes for aircraft friction units. Report 2. Friction materials / A. S. Bychkov, O. Yu. Nechyporenko // Technological systems. 2018. No. 2 (83). Pp. 31 - 41.

32. Бычков А. С. Проблемы инженерного прогнозирования эффективных объемов применения материалов порошковой металлургии в конструкциях агрегатов самолетов / А. С. Бычков, А. В. Кондратьев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». Харьков, 2018. Вып. 3 (95). С. 20 – 39.

33. Бычков А. С. Повышение триботехнических характеристик титановых деталей самолетов / А. С. Бычков // Проблемы трения и износа. 2016. №1 (70). С. 98 – 105.

34. Bychkov A. S. Composite metal-ceramic and metal-polymeric materials for friction assemblies of national civil aircrafts / A. S. Bychkov, O. Yu. Nechyporenko // Aerospace Research in Bulgaria. 2018. Vol. 30. Pp. 143 – 154.

35. Бычков А. С. Критериальная оценка повышения эксплуатационных характеристик деталей авиаконструкций с газотермическими покрытиями / А. С. Бычков, А. В. Кондратьев // Сверхтвердые материалы. 2019. № 1. С. 71 – 79.

Тези публікацій

36. Бычков А. С. Несущая способность и причины разрушения металлических конструкций гражданских отечественных самолетов / А. С. Бычков // Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні. ІКТМ 2016 : тези доп. всеукраїнськ. наук.-техн. конф. Харків, 2016. Т.1. С. 21.

37. Бычков А. С. Составляющие безопасности в анализе и синтезе формирования структуры и свойств конструкционных материалов и их покрытий для авиационных деталей / А. С. Бычков, Т. П. Набокина // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. міжнарод. наук.-техн. конф. Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАИ», м. Харків, 20 – 21 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 82.

38. Гуменний А. М. Аналіз впливу конструктивно-технологічних параметрів на втомну довговічність болтових з'єднань конструктивних елементів із сплаву ВТ-6 / А. М. Гуменний, А. С. Бичков // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. міжнарод. наук.-техн. конф. Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, 20 – 21 квітня 2017 р. Харків, 2017. С. 28.

39. Бычков А. С. Классификация основных видов составов антифрикционных материалов для пар трения агрегатов авиационных конструкций / А.С. Бычков, Т.П. Набокина // Проблеми створення та забезпечення життєвого циклу авіаційної техніки: тези доп. міжнарод. наук.-техн. конф. Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, 17 – 18 квітня 2018 р. Харків, 2018. С. 102 – 103.

40. Бычков А. С. Классификационная схема основных видов составов фрикционных триботехнических материалов для пар трения аэрокосмических конструкций / А. С. Бычков, Т. П. Набокина // Сучасні проблеми ракетно-космічної техніки і технології: тези доп. XIV наук.-техн. конф. Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, 18 – 20 квітня 2018 р. Харків, 2018. С. 28 – 29.

41. Bychkov A. S. Criteria of safety and effectiveness of replacing materials for tribotechnical purposes for aircraft friction units / A. S. Bychkov // Авіація у XXI столітті: матеріали VIII Всесвіт. конгр. Нац. авіаційн. ун-т, м. Київ, 10-12 жовтня, 2018. Київ. [Електронний ресурс]. URL: <http://conference.nau.edu.ua>.

Патенти

42. Пат. 113193 UA. Спосіб формування покриття на металевій поверхні за допомогою іонно-вакуумного плазмового напилення, МПК (2006) C23C 14/00 / О. М. Івасишин, А. С. Бичков, О. А. Коцюба; заявник і патентовласник О. М. Івасишин, А. С. Бичков, О. А. Коцюба. – № u 201611840; заяв. 23.11.2016; опубл. 10.01.2017, Бюл. №. 1 – 3 с.

43. Пат. 117835 UA. Спосіб виготовлення деталей з антифрикційними властивостями, МПК B22D 19/08 (2006.01), F16C 33/08 (2006.01) / А. С. Бичков, заявник і патентовласник А. С. Бичков / № u 201700790; заяв. 30.01.2017; опубл. 10.07.2017, Бюл. №. 13 – 3 с.

44. Пат. 117836 UA. Спосіб іонно-вакуумного напилення антикорозійного покриття на металеву поверхню, МПК F01P 11/06 (2006.01), F16C 33/12 (2006.01) / О. М. Івасишин, А. С. Бичков, О. А. Коцюба; заявник і патентовласник О. М. Івасишин, А. С. Бичков, О. А. Коцюба. – № u 201700791; заяв. 30.01.2017; опубл. 10.07.2017, Бюл. №. 13 – 3 с.

45. Пат. 118228 UA. Спосіб виготовлення деталей з антифрикційними властивостями, МПК B22D 19/08 (2006.01), F16C 33/08 (2006.01) / А. С. Бичков, заявник і патентовласник А. С. Бичков / № u 201701955; заяв. 01.03.2017; опубл. 25.07.2017, Бюл. №. 14 – 2 с.

46. Пат. 119755 UA. Спосіб іонно-вакуумного нанесення багаточарового антикорозійного покриття на металеву поверхню, МПК (2017.01), C23C 14/00, B05D1/00 / О. А. Коцюба, А. С. Бичков; заявник і патентовласник О. А. Коцюба, А. С. Бичков, № u 201702916; заявл. 28.03.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. №. 19 - 3 с.

47. Пат. 119802 UA. Спосіб виготовлення заготовки для деталі з антифрикційного металокерамічного матеріалу, МПК, В22F 3/12 (2006.01), С22С 1/05 (2006.01), F16С 33/12 (2006.01) / О. А. Коцюба, А. С. Бичков; заявник і патентовласник О. А. Коцюба, А. С. Бичков, № u 201703555; заявл. 12.04.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. №. 19 - 2 с.

48. Пат. 119936 UA. Спосіб виготовлення заготовки для деталі з антифрикційного металокерамічного матеріалу, МПК (2017.01), В22F 3/12 (2006.01), С22С 1/05 (2006.01), В22F 8/00, F16С 33/12 (2006.01) / О. А. Коцюба, А. С. Бичков; заявник і патентовласник О. А. Коцюба, А. С. Бичков, № u 201705131; заявл. 26.05.2017; опубл. 10.10.2017, Бюл. №.19 - 2 с.

49. Пат. 126681 UA. Спосіб для формоутворення великогабаритної деталі із заготовки з листового матеріалу або з пресованої панелі, МПК (2018.01), В21 D 5/00 / О. Г. Кривоконь, Б. В. Лупкін, С. А. Бичков, Ю. Я. Корольков, А. С. Бичков; заявник і патентовласник О. Г. Кривоконь, Б. В. Лупкін, С. А. Бичков, Ю. Я. Корольков, А. С. Бичков, № u 201701830; заявл. 23.02.2018; опубл. 25.06.2018, Бюл. №. 12 - 5 с.

АНОТАЦІЯ

Бичков А. С. Концепція підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів вітчизняних цивільних літаків спеціальними методами порошкової металургії. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.07.02 - Проектування, виробництво та випробування літальних апаратів. – Національний авіаційний університет, Київ, 2019.

Дисертацію присвячено розробці концепції підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій агрегатів цивільних літаків спеціальними методами порошкової металургії (ПМ). Містить наукові основи загальної методології оцінки ефективності методів ПМ стосовно використання в конструкціях агрегатів літаків; критеріальні оцінки перспективності розширення застосування спечених матеріалів на основі алюмінію та титану; критеріальні оцінки ефективності іонно-плазмових і газотермічних порошкових покриттів; аналіз ефективності застосування порошкових матеріалів у вузлах тертя; основи інженерного прогнозування ефективних обсягів застосування матеріалів ПМ в авіаційних конструкціях.

Синтезовано класифікаційні схеми основних видів складів антифрикційних і фрикційних матеріалів, розроблено блок-схеми формування їх основних експлуатаційних характеристик. Проведено аналіз можливостей підвищення експлуатаційних характеристик деталей з захисними газотермічними порошковими покриттями.

Викладено результати впровадження та використання матеріалів дисертації на підприємствах авіакосмічного комплексу України та у вищих навчальних закладах.

Ключові слова: вітчизняні цивільні літаки, деталі з порошкових спечених матеріалів, концепція підвищення експлуатаційних характеристик, критерії оцінки ефективності, методологія інженерного прогнозування.

АННОТАЦИЯ

Бычков А. С. Концепция повышения эксплуатационных характеристик конструкций агрегатов отечественных гражданских самолетов специальными методами порошковой металлургии. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.07.02 - Проектирование, производство и испытания летательных аппаратов». – Национальный авиационный университет, Киев, 2019.

Диссертация посвящена разработке концепции повышения эксплуатационных характеристик конструкций агрегатов отечественных гражданских самолетов специальными методами порошковой металлургии (ПМ). Содержит теоретические и практические результаты, включающие в себя:

- научные основы общей методологии оценки эффективности методов ПМ применительно к использованию в агрегатах гражданских самолетов;

- критериальные оценки перспективности расширения применения в конструкции агрегатов самолетов спеченных порошковых материалов на основе алюминия и титана;

- критериальные оценки эффективности ионно-плазменных и газотермических порошковых покрытий деталей авиационных конструкций;

- анализ эффективности применения порошковых материалов в узлах трения самолетов;

- основы инженерного прогнозирования эффективных объемов применения материалов ПМ в конструкциях агрегатов самолетов.

Проведены обзор и анализ мировых тенденций развития гражданских самолетов транспортной категории, выявивший пути повышения эффективности их агрегатов за счет увеличения объема применения в них полимерных композиционных материалов (ПКМ), а также новых материалов и технологий ПМ. Вскрыты причины этого роста: перманентное увеличение функциональных свойств порошковых материалов и их номенклатуры, усиление роли научного обеспечения средствами информационных и компьютерных технологий, а также эффективных конструктивно-технологических решений.

Разработаны научные основы общей методологии оценки эффективности методов ПМ, адаптированных к использованию в агрегатах гражданских самолетов, включающие предложенный и реализованный концептуальный подход к критериальной оценке возможностей повышения эксплуатационных характеристик деталей авиаконструкций, формируемых методами ПМ; классификацию эксплуатационных свойств конструкционных материалов, сгруппированных в виде критериев единичного, группового и комплексного уровней, объединенных в интегральный критерий, предопределяющий количественную оценку степени эффективности применения того или иного метода ПМ для формирования деталей авиаконструкций конкретного назначения взамен традиционных способов их изготовления; разработанную блок-схему иерархической структуры критериев, соответствующую правилу деления объема понятий теории классификаций.

Предложен метод последовательного расширения полноты критериальной оценки эффективности использования спеченных порошковых материалов в деталях агрегатов авиаконструкций, реализованный для спеченных порошковых материалов на основе алюминиевых и титановых сплавов. Этот метод как составная часть общей научной концепции позволяет последовательно, по мере накопления данных о свойствах заменяющих порошковых сплавов, расширять до потребной степени полноты и достоверности область эффективного внедрения спеченных порошковых алюминиевых и титановых сплавов, охватывая необходимую номенклатуру деталей как по наиболее важным комплексным критериям для тех или иных условий эксплуатации, так и постепенного приближения в прогнозах к интегральному критерию многоуровневой критериальной оценки.

Синтезированы классификационные схемы основных видов составов антифрикционных и фрикционных материалов, а также их группы и подгруппы, отличающиеся значениями эксплуатационных характеристик, реализуемых в соответствующих условиях эксплуатации пар трения.

Разработаны блок-схемы формирования основных эксплуатационных характеристик антифрикционных и фрикционных материалов, включающие основные и дополнительные функциональные триботехнические свойства, обеспечивающие регламентированные режимы работы соответствующих пар трения, а также взаимосвязанные комплексные свойства, формирующие те или иные групповые и единичные характеристики.

На основе исследования фазового состава, текстуры, остаточных напряжений и характеристик субструктуры многокомпонентных ионно-плазменных покрытий установлены кристаллохимические закономерности формирования в них нанокристаллических структурных состояний, обладающих высокими коррозионно-износостойкими свойствами.

Проведен анализ возможностей повышения эксплуатационных характеристик деталей авиаконструкций с защитными порошковыми покрытиями, наносимыми газотермическими методами.

Разработана принципиальная схема состава комплекса прогнозирования объемов внедрения порошковых конструкционных элементов (ПКЭ) в агрегатах самолета, информационное насыщение которого в перспективе должно обеспечить качество и точность этого прогноза. Установлен характер формирования долгосрочных прогнозов роста объемов параллельного внедрения ПКМ и ПКЭ в агрегатах самолетов как эффективного способа повышения их эксплуатационных характеристик в современных условиях.

Изложены результаты внедрения и использования материалов диссертации на ведущих предприятиях авиакосмического комплекса Украины и в высших учебных заведениях.

Ключевые слова: отечественные гражданские самолеты, детали из порошковых спеченных материалов, концепция повышения эксплуатационных характеристик, критерии оценки эффективности, методология инженерного прогнозирования.

ANNOTATION

Bychkov A. S. Concept of Increasing the Performance Characteristics of the Units Constructions of Domestic Civil Aircraft by Special Methods of Powder Metallurgy. - Qualification Scientific Work as a manuscripts.

Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 05.07.02 - Design, Manufacture and Testing of aircraft. – National Aviation University, Kyiv, 2019.

The dissertation is devoted to the development of the concept of increasing the operational characteristics of civil aircraft units by special methods of powder metallurgy (PM). It contains scientific basics of a general methodology for evaluating the effectiveness of PM methods for use in aircraft unit designs; criterion evaluation of the prospects of expanding the use of sintered powder aluminum-based and titanium-based materials; criterion evaluation of the effectiveness of ion-plasma and gas-thermal powder coatings; analysis of the effectiveness of the use of powder materials at friction units; bases of engineering forecasting of effective volumes of use of PM materials in aircraft structures.

The classification schemes of the main types of antifriction and friction materials composites were synthesized, and the block-diagram of the formation of their basic operational characteristics has been developed. The analysis of the possibilities of increasing the operational characteristics of parts with protective gas-thermal powder coatings is carried out.

The results of the introduction and use of dissertation materials on the enterprises of the aviation complex of Ukraine and in higher educational institutions are presented.

Keywords: domestic civil aircraft, parts from powder sintered materials, concept of increasing performance characteristics, criteria for evaluation efficiency, methodology of engineering forecasting

Підписано до друку 05.11.2019 р.
Формат 60 × 84/16. Папір офсетний. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 1,86. Наклад 100 прим. Замовлення № 3661

Віддруковано: Державне підприємство «АНТОНОВ»
1, вул. Академіка Туполева, м. Київ, 03062, Україна
E-mail: press@antonov.com