

УДК 621.529.4: 004. 43

Приймаков О.Г., Бобровицький О.В., Лисяк О.О., Приймаков Г.О.

**ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ  
НАДІЙНОСТІ, ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ВИТРИВАЛОСТІ АВІАЦІЙНИХ  
КОНСТРУКЦІЙ**

*Харківський університет Повітряних Сил ЗС України*

Розрахунок та проектування деталей авіаційної техніки (АТ) – це складний, багатокритеріальний процес, адже з десятка критеріїв працездатності слід відібрати один-два для створення проектувального та перевірочних розрахунків [1-3]. Ситуація ускладнюється особливостями авіаційних матеріалів (АМ) – високолегованих жаростійких сталей та кольорових сплавів на основі алюмінію, а саме: варіативність аеродинамічної міцності, нестационарність навантаження, можливість багатократних перевантажень, різкий перепад температур, бафтинг, флаттер і таке інше.

Ось чому виникає нагальна потреба в створенні інтегрального показника працездатності (ПП) АМ, який би дозволяв прогнозувати одночасно надійність, довговічність, міцність, витривалість та зносостійкість цих матеріалів, базуючись на лінійній гіпотезі сумування пошкоджень та на відомих залежностях інтенсивності зносу в часі [4, 5, 7, 10].

Однак процес реалізації такого ПП АМ досить складний і потребує математичного моделювання з можливістю зворотного зв'язку для того, щоб зробити цей процес математично і технічно виправданим.

З математичної точки зору – це вінерівський процес у вигляді адаптивного фільтру Калмана з необхідністю зворотного зв'язку [5].

В роботах [1,2] показано, найбільш доцільно здійснювати діагностування технічного стану АТ з допомогою рекурсивного адаптивного фільтру калманівської оцінки ("чорний ящик") зі зворотним зв'язком вхідних та вихідних параметрів. Вхідними параметрами мають бути: інтегральний показник працездатності (ПП) та закономірність інтенсивності зносу визначальних пар тертя (ЗІЗ), які додаються як стохастичні параметри; зовнішній чинник – це технологічний параметр  $v(n)$ , внутрішній чинник – параметр "білого шуму" всередині "чорного ящика".

Як видно із публікацій [1, 2, 6, 7], інтегральні показники ПП та ЗІЗ мають визначитись наступним чином.

ПП цілком і повністю визначається пошкодженістю  $D$ , яка визначається на основі гіпотези лінійного додавання пошкоджень від дії зовнішніх та внутрішніх чинників, що стала загальноприйнятною, [8,10,12].

Пошкодженість  $D$  при дії напруженого стану  $\sigma_{екв}$  на протязі часу  $t$  визначаємо як відношення  $t$  до часу  $t'$  до руйнування при дії того ж рівня напружень, піднесене до ступеня  $m$  ( $D$  – величина безрозмірна):

$$D = \left( \frac{t}{t'} \right)^m, \quad (1)$$

В загальному вигляді:

$$D = \sum_{i=1}^n \left( \frac{t}{t'} \right)^m, \quad (2)$$

де  $n$  – кількість блоків навантаження.

В ході експериментальних досліджень [7] встановлено, що для жаростійких високолегованих сталей (30 ХГСА, 40 ХН 2МА, ДСТУ 4543-94 і т.ін.) показник ступеня  $m = 3,98 \dots 4$ .

Ю.М. Работнов у монографії [12] вважає, що пошкодженість  $D$  чисельно дорівнює постійній  $C$  із класичного рівняння Велера:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{t_i}{t'_i} \right) = C, \quad (3)$$

Виходячи із цього, можна записати:

$$D = \sigma_{\text{екв}}^m \cdot N / \sigma_{-1}^m N_{\text{б}}, \quad (4)$$

де  $\sigma_{\text{екв}}$  – еквівалентний рівень напружень в небезпечному перерізі, що визначається IV гіпотезою міцності С.П.Тимошенка;  $\sigma_{-1}$  – межа витривалості АМ;  $N_{\text{б}}$  – база випробувань АМ;  $N$  – дійсне число циклів навантажень.

Тому умова забезпечення витривалості, надійності, довговічності та зносостійкості деталей АТ через інтегральний показник працездатності ППП =  $D$  набуває вигляду:

$$D \leq [D], \quad (5)$$

де  $[D]$  для конструкційних сталей можна знайти у довідковій літературі [10, 12].

Як ЗІЗ слід прийняти лінійну інтенсивність зношування  $I_h$  [9, 11], як об'єктивний безрозмірний показник процесу зношування, що безпосередньо впливає і на витривалість, надійність та довговічність деталей АТ, тобто ЗІЗ =  $I_h$ .

Встановлено, що при пружному ненасиченому контакті (80-90 % випадків роботи АМ):

$$I_h = \frac{1,5}{n\alpha} \left( \frac{h}{R} \right)^{1/2}, \quad (6)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що характеризує пружний та кінематичний стани в зоні контакту;  $\alpha = f(V, \sigma_{\text{екв}})$ , де  $V$  – швидкість ковзання в зоні контакту;  $\sigma_{\text{екв}}$  – еквівалентний рівень напружень в цій же зоні контакту.

Для пружного ненасиченого контакту рекомендується [10, 12]:

$\alpha = 0,75$ ,  $n$  – число циклів до руйнування (циклічна довговічність) [12].

$h$  – товщина зношеного шару,  $R$  – радіус умовної кулі – індентора [12].

Технологічний параметр  $b(n)$  в математичній моделі функціонування інтегрального показника працездатності АМ можна визначити у вигляді регресивного рівняння виду:

$$b(n) = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n, \quad (7)$$

де  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , – технологічні чинники (марка сталі, термічна обробка, наявність концентраторів напружень, масштабний фактор, шорсткість поверхні, точність виготовлення, точність складання і т.ін.);  $a_1, a_2, \dots, a_n$  – вагові коефіцієнти.

Методика визначення складових такого рівняння стосовно впливу технологічних чинників добре описана в [3].

Як відомо [1, 7, 8], у такому пристрої оцінки вся інформація, що поступає, використовується для коригування рекурсивної оцінки, тобто такий фільтр має зворотній зв'язок із вхідними параметрами і може бути віднесений до групи адаптивних фільтрів.

Метою даної статті є технічний опис та розробка методології використання програмного продукту для діагностування технічного стану АТ із врахуванням специфіки їх роботи.

При розробці програмного продукту використана технологія швидкої розробки додатків (RAD – технологія) завдяки її здатності до візуального об'єктивно-орієнтованого програмування. Ця технологія характерна для нового покоління систем програмування, до якого і відноситься C++ Builder.

Програма "Математична модель процесу функціонування інтегрального показника працездатності авіаційних матеріалів" складається із об'яв (змінних, констант, типів, класів, функцій) та описів функцій; програма побудована на модульному принципі і складається із множин модулів. Принцип модульності дуже важливий для створення надійних і легко модифікованих і супроводжуваних додатків.

Основою роботи C++ Builder з базами даних є Borland Database Engine (BDE) – процесор баз даних фірми Borland BDE служить посередником між додатками та базами даних. Він надає користувачу єдиний інтерфейс для роботи, який звільняє користувача від конкретної реалізації бази даних. Завдяки цьому не потрібно змінювати додатки при зміні реалізації бази даних. Додаток C++ Builder ніколи не звертає безпосередньо до бази даних, а лише до BDE. BDE реалізований у вигляді бібліотек DLL і забезпечений API (Application Program Interface) – інтерфейсом прикладних програм.

Це список процедур і функцій для роботи із базами даних, якими користуються додатки.

В процесі проектування додатків C++ Builder автоматично створює коди головного файлу проекту, коди окремих модулів і коди заголовних файлів.

Головний файл проекту містить у собі функцію Win Main. В інші модулі користувач вводить свій код і створює обробники різних подій. В заголовні файли цих модулів вводяться свої об'яви. Але заголовний модуль, як правило, не чіпається і його текст не видно.

Тільки у виключних випадках потрібно щось змінювати в тексті головного модуля, що згенерований C++ Builder. Для виключних випадків необхідно представити від головного файлу проекту та розуміти, що означають його оператори.

Щоб побачити код головного файлу проекту, необхідно виконати в середовищі розробки C++ Builder команду Project/View Source. Тексти модулів форм складаються з двох файлів: заголовного, що містить в собі опис класу форми, та файла реалізації.

Такі основні положення методології створення програмного продукту "Прогнозування ресурсу дизельних двигунів АНТ".

Структура розміщення файлів модулів має вигляд:

- в кореневій папці знаходиться "Керівництво користувача" (файл "Model. doc");
- папка "Bmp" містить графічні ресурси додатка;

- папка "Data" включає в себе переналаджену версію бази даних;
- папка "Install" містить дистрибутив програми; для установлення програми на комп'ютер запускається файл "Setup. m.exe";
- папка "Isx" включає в себе файл проекту програми Install Shield Express, яка використовувалась для дистрибутиву;
- папка "Screen Shots" містить приклади вікон, які використовуються в програмах додатка.

Схема зв'язку додатка C++ Builder з вхідними базами даних [ІПП, ЗІЗ, b(n), v(n)] показана на рис. 1.

Додаток написано на мові програмування Borland C++ Builder v 6.0 з використанням бібліотеки візуальних компонентів Visual Component Library, для зберігання даних використовується формат бази даних Paradox 7, а для доступу до них – пакет "Borlan Database Engine".

В поставку входить файл "setup. exe" – програма установки додатку і файл "bde. exe" – програма установки пакета "Borland Database Engine". Дотримуючись вказівок установчої програми потрібно встановити програму, Програма потребує встановленого пакету "Borland Database Engine". Коли на комп'ютері, на який встановлюється програма, ще не встановлений цей пакет (це можливо перевірити, відчинив Панель управління операційної системи і вибираючи "Установлення і виведення програм"), то необхідно також запустити "bde. exe", після чого перезавантажити комп'ютер.

Таким чином, на виході програмного продукту отримуємо такі вихідні величини:

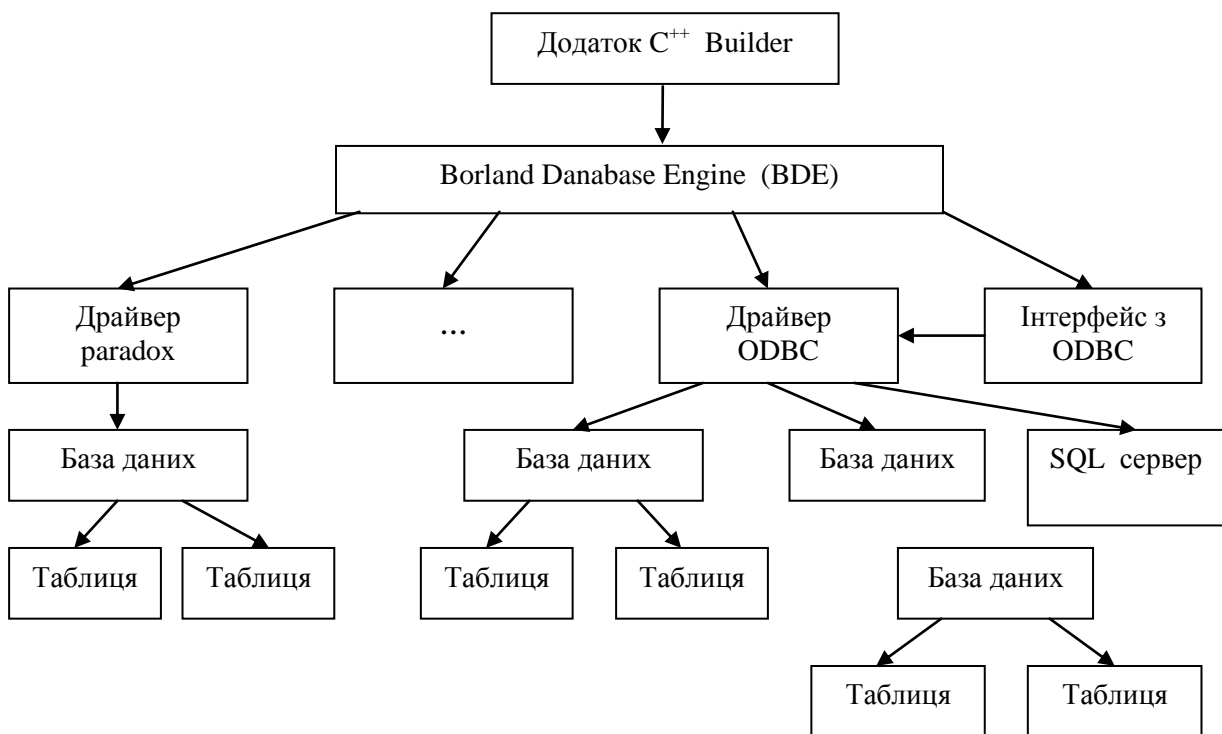


Рисунок 1 – Схема зв'язку додатка C++ Builder з базами даних [ІПП, ЗІЗ, b(n), v(n)]

- відгук  $\hat{\delta}(n)$ , що являє собою суму стохастичних величин ППП + ЗІЗ, в функції кількості циклів навантаження  $n$ ;
- окремі значення ЗІЗ та ППП в функції кількості циклів навантаження  $n$ ;
- імовірність безвідмовної роботи  $P(n)$  авіаційної конструкції в функції кількості циклів навантаження  $n$ ;
- залишковий ресурс  $T_{\text{зал.}}$  роботи конструкції в годинах в функції кількості циклів навантаження;
- логарифмічний зв'язок  $\lg \sigma_{\text{екв}} - \lg N_6$ , що дозволяє визначити дійсні значення бази випробувань  $N_6$  та межі витривалості  $\sigma-1$  АМ.

Крім того, із врахуванням зовнішніх ( $b(n)$ ) та внутрішніх чинників ( $v(n)$ ) через зворотній зв'язок отримаємо зкориговані графіки залежностей  $\hat{x}(n) = f(n)$ ;  $\text{ЗІЗ}(I_h) = f(n)$ ;  $\text{ППП}(D) = f(n)$ ;  $P(n) = f(n)$ ;  $T_{\text{зал.}} = f(n)$ ;  $\lg \sigma_{\text{екв}} = f(\lg N_6)$ .

Після запуску відчиняється головне вікно програми.

В списку матеріалів відображаються всі матеріали, які були добавлені в базу даних. Жирним шрифтом відображаються матеріали, для яких уже була побудована модель. Кнопка "Результати" (і кнопка "Модель") являється забороненою (дозволеною), коли для виділеного в списку матеріалу, вже була побудована модель. І навпаки.

Добавити новий матеріал в базу даних можна за допомогою відповідної кнопки "Добавити".

В даному вікні необхідно заповнити всі значення. Після чого натиснути кнопку "Зберегти", для запису в базу даних інформації про новий матеріал. Або кнопку "Відміна" в протилежному випадку.

**Зауваження:** при уводі чисел не можна розділяти групи цифр символом пробілу. Для уводу десятичних дробей для розділу десятичної і дрібної частини числа, поза залежністю від настроювання комп'ютера, можна використовувати як символ "." (крапка), так і символ "," (кома).

Для змінення параметрів вже існуючого матеріалу необхідно вибрати потрібний елемент в списку матеріалів і натиснути кнопку "Змінити", після чого у вікні, що з'явилося, можна змінити бажані значення.

Після цього натиснути кнопку "Зберегти", для запису в базу даних змінювань про новий матеріал. Або кнопку "Відміна" в протилежному випадку.

**Зауваження:** при уводі чисел не можна розділяти групи цифр символом пробілу. Для уводу десятичних дробей для розділу десятичної і дрібної частини числа, поза залежністю від настроювання комп'ютера, можна використовувати як символ "." (крапка), так і символ "," (кома).

Для знищення існуючого матеріалу із бази необхідно вибрати потрібний елемент в списку матеріалів і натиснути на кнопку "Знищити". Після чого у вікні, що з'явилося, необхідно підтвердити знищення матеріалу із бази.

Для розрахунку моделі для існуючого в базі матеріалу необхідно виділити цей матеріал у списку і натиснути кнопку "Модель".

**Зауваження:** коли для матеріалу вже була розрахована модель, він буде відображатися в списку жирним кольором і при його виборі в списку кнопка "Модель" буде заборонена.

Материал:	Материал 2
Долговечность:	60000
Показатель:	3,98
Толщина изнашиваемого слоя:	1
Радиус условного шара:	1
Марка стали:	0,5
Термическая обработка:	0,1
Концентраторы напряжения:	0,05
Масштабный фактор:	0,05
Шорсткость поверхности:	0,05
Точность изготовления:	0,05
Точность сборки:	0,1

Уровень напряженности:

Сохранить      Отмена

У вікні, що з'явилося, необхідно увести рівень напруженості  $\sigma_{екв}$  і натиснути кнопку "Зберегти". У верхній частині вікна відображаються параметри вибраного матеріалу. Для змінення цих параметрів використуйте кнопку "Змінити" на головному вікні додатку.

У час побудування моделі користувачу показується вікно з інформацією, яке автоматично ховається по закінченні розрахунку.

Після побудування моделі, матеріал, що вибраний, буде відображатися в списку жирним шрифтом, кнопка "Модель" буде заборонена, а кнопка "Результати" – дозволена. Після натиску кнопки "Результат" відчиниться спливаюче меню для вибору графіка, що переглядається.

**Зауваження:** при натиску кнопки миші праворуч на подальших формах перегляду графіків відчиняється таке ж спливаюче меню для перемикання типу графіка.

На рис. 2-6 показані відповідно усереднені графіки залежностей, побудованих для широкого спектру АМ:

$$- \hat{x}(n) = 2\ddot{I} \ddot{I} + \zeta^2 \zeta = f(n) \text{ – рис.2}$$

$$- \zeta^2 \zeta = I_h = f(n) \text{ – рис.3}$$

$$- P(n) = f(n) \text{ – рис.4}$$

$$- T_{\zeta \ddot{a} \ddot{e}} = f(n) \text{ – рис.5}$$

$$- \lg \sigma_{\ddot{a} \ddot{e} \ddot{a}} = f(\lg N_{\ddot{a}}) \text{ – рис.6}$$

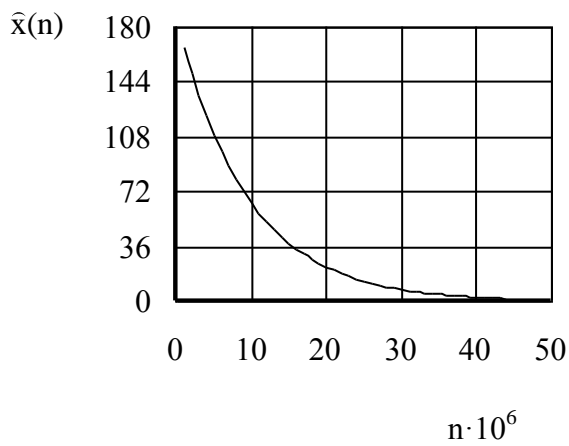


Рисунок 2 – График зависимости  $\hat{x}(n) = \text{IIIП} + 3\text{IЗ} = f(n)$

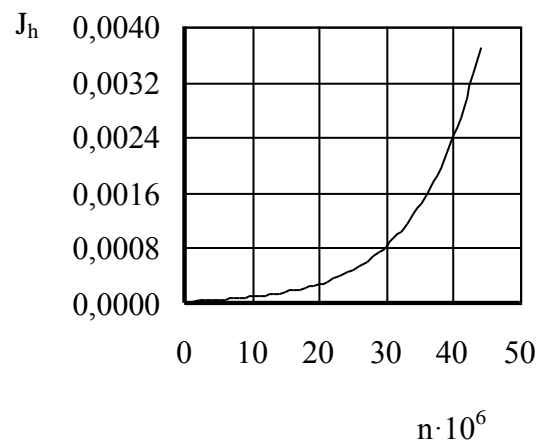


Рисунок 3 – График зависимости  $J_h = 3\text{IЗ} = f(n)$

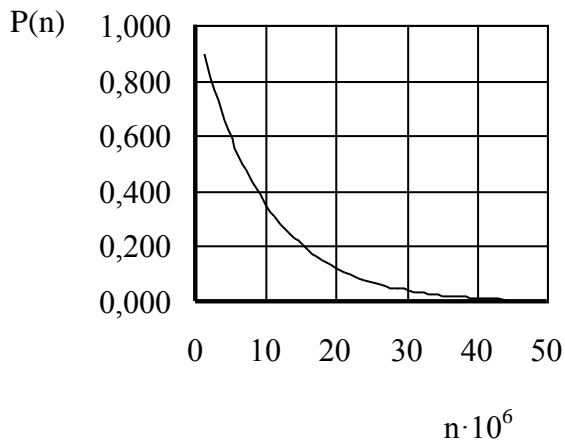


Рисунок 4 – График зависимости  $P(n) = f(n)$

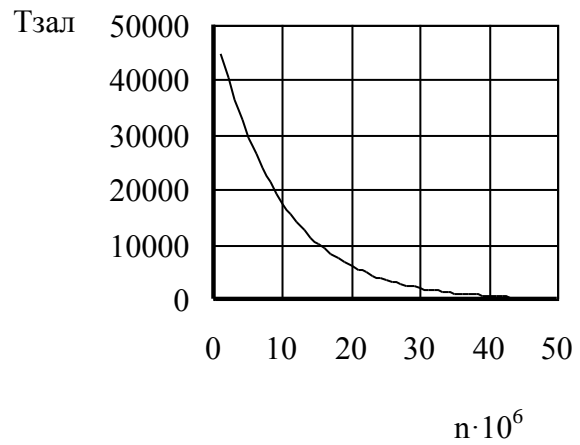


Рисунок 5 – График зависимости  $T_{\text{зал}} = f(n)$

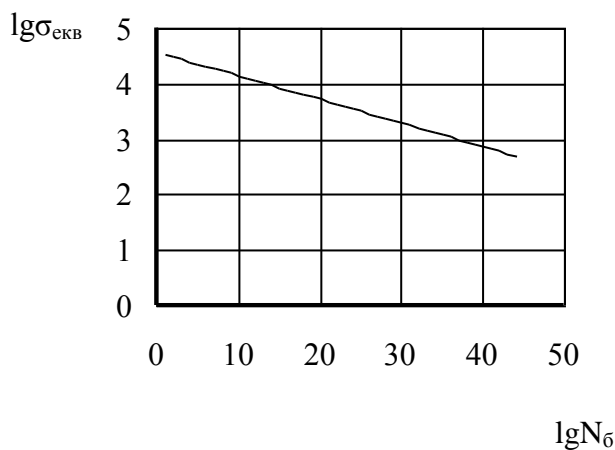


Рисунок 6 – График зависимости  $\lg \sigma_{\text{екв}} = f(\lg N_6)$

Використовуючи стандартну програму апроксимації графічних залежностей із MathCad для залежності  $\hat{x}(n) = {}^2\ddot{I} \ddot{I} + \zeta^2\zeta = f(n)$  – див. рис. 2 – отримано наступну інтегральну формулу:

$$\hat{x}(n) = {}^2\ddot{I} \ddot{I} + \zeta^2\zeta = 185 \exp(-0,105n). \quad (8)$$

В роботі [1] показано, що  $\hat{\delta}(n) = \hat{\delta}(n-1) + k(n)[y(n) - \hat{\delta}(n-1)]$ , а, враховуючи, що  $k(n) = \zeta^2\zeta = I_h$ ,  $y(n) = {}^2\ddot{I} \ddot{I} = \ddot{A}$  та  $\hat{x}(n) = {}^2\ddot{I} \ddot{I} + \zeta^2\zeta = \ddot{A} + I_h$ , після нескладних алгебраїчних перетворень, отримуємо тотожність:

$$(n-1)(I_h + \ddot{A} - I_h^2 - I_h \ddot{A}) = 185 \exp(-0,185n). \quad (9)$$

Тотожність (9) дозволяє визначити кількість циклів навантажень  $n$  при відомих  $I_h$  та  $\ddot{A}$ , або, навпаки, при відомому (чи заданому) значенні  $n$  знайти залежність між  $I_h$  та  $\ddot{A}$ .

Аналізуючи графіки на рис. 2-5, слід відмітити, що визначені залежності носять експоненціальний характер, а графік на рис. 6 - лінійний характер, що цілком закономірно для графіків в логарифмічних координатах.

Графіки  $\hat{\delta}(n) = f(n)$  були побудовані для широкого спектру АМ (високолеговані жаростійкі сталі та кольорові сплави на основі алюмінію) і на їх основі створено деякий усереднений графік (див. рис. 2).

Завдяки такому графіку, можна визначити деяку умовну градацію значень  $\hat{\delta}(n)$  в функції від кількості циклів навантажень  $n$ :

- при  $\hat{\delta}(n) = 165 \dots 70$  кількість циклів  $n$  різко зменшується і не перевищує  $n \leq 9 \cdot 10^6$ ;
- при  $\hat{\delta}(n) = 70 \dots 20$  намічається деяка перехідна зона і кількість циклів  $n$  не перевищує  $n \leq 21 \cdot 10^6$ ;
- при  $\hat{\delta}(n) < 20$  величина  $n$  зменшується дуже плавно і цей діапазон значень  $\hat{\delta}(n)$  – найбільш раціональний.

Підхід, при якому інтегральний показник працездатності  $\hat{x}(n) = {}^2\ddot{I} \ddot{I} + \zeta^2\zeta$  визначає загальну працездатність окремої деталі чи конструкції в цілому, можна назвати системно-логічним.

Таким чином, підсумовуючи вище наведене, можна сформулювати загальну методологію прогнозування працездатності деталей та агрегатів в середньому машинобудуванні, до якого відноситься і авіабудування, за системно-логічною схемою:

- 1) Вибирається (визначається) небезпечний переріз відповідальної деталі машини чи механізму. Якщо таких декілька, то вибирається найбільш "слабка ланка";
- 2) В небезпечному перерізі визначається рівень еквівалентних напружень згідно IV гіпотези міцності С.П.Тимошенка;
- 3) Формується база даних(зовнішні чинники) про матеріал небезпечного перерізу та контртіло, включаючи показник довговічності, товщину зношеного шару при заданій довговічності, радіус умовної кулі контакту, вид термообробки, масштабний



фактор, вид концентратора напружень, шорсткість поверхні, точність виготовлення, точність складання. Після цього визначається параметр впливу зовнішніх чинників в (n) у відповідності з формулою (7);

4) Знаючи задану довговічність n (в кількості циклів навантажень чи в годинах), можна обчислити величини інтегральних показників:  $ППП=Д$  (формула 4) та  $ЗІЗ=Іh$  (формула 6). Програма "Математична модель процесу функціонування інтегрального показника працездатності АМ" при введенні значень також дозволяє обчислити значення Д та Іh ;

5) З допомогою зазначеної програми визначаються в функції n величини:

– загальний показник працездатності;

– імовірність безвідмовної роботи;

– залишковий ресурс.

Можна також для контролю над процесом отримати графіки.

6) Всі внутрішні чинники процесу автоматично враховуються показником "білого шуму" (n) в залежності від заданої величини n;

7) Побудований графік оцінюється порівнянням з типовим усередненим одиницями графіком (див.рис. 2) або формулою (8) чи (9), тобто перевіряється, чи відповідає задане значення n розрахованій величині. Невідповідність (відносна похибка) 0,5 % свідчить про добрий результат 5 % 15 % – про задовільний, а при 15 % – слід здійснити зміни конструкторсько-технологічного плану щодо зменшення рівня в небезпечному перерізі аж до вибору інших конструкційних матеріалів чи іншого їх поєднання.

8) При позитивному результаті можна гарантувати загальну працездатність по таких окремих критеріях, як витривалість, зносостійкість, надійність та довговічність. В деяких випадках можна забезпечити і критеріальну міцність при умові  $\sigma_{\text{дод}} \leq [\sigma]$  для зношеного матеріалу.

Отже, можна в даній статті репрезентувати системно – логістичну методологію розрахунків деталей АТ за загальним інтегральним показником працездатності, причому, ця методологія забезпечена програмним продуктом і доведена до рівня інженерної методики.

### Література

1. Приймаков О.Г., Лисяк О.О., Бобровицький О.В., Івашенко І.І. Математичне моделювання процесу функціонування інтегрального показника працездатності авіаційних матеріалів. – Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии.– 2003.– Вып.19.– С.136-141.

2. Приймаков О.Г., Приймаков Г.О., Бобровицький О.В., Лисяк О.О. Математичне моделювання довговічності несучих елементів авіаційної техніки.– Вестник науки и техники.– 2004.– Вып.2-3.– С.4-9.

3. Васильев В.Н., Иванюк А.Н.. Моделирование систем в гражданской авиации. / В 2-х ч.–М.,: Транспорт, 1977.– 362с.

4. Приймаков О.Г., Бобровицький О.В., Лисяк О.О. Прогнозування надійності, довговічності та витривалості авіаційних матеріалів // Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції "АВІА-2003" –Т.3.– К.: Вид.НАУ, 2003.–С.32.39-32.42.

5. Приймаков О.Г., Бобровицький О.В. Прогнозування витривалості авіаційних матеріалів.– Вестник науки и техники.– 2002– Вып. 4.– С.5 -11.

6. Приймаков О.Г., Бобровицкий О.В. Прискорене визначення межі витривалості авіаційних матеріалів.– Вестник науки и техники.–2003.– Вип.1.– С.4-8.
7. Приймаков О.Г., Бобровицкий О.В., Лисяк О.О. Циклічна довговічність деталей авіаційної техніки.– Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии– 2003.– Вып.18– С.147-153.
8. Приймаков О.Г., Приймаков Г.О., Бобровицкий О.В. Працездатність деталей авіаційної техніки з точки зору термодинаміки.– Вестник науки и техники.– 2003. Вип.4.–с.21-28.
9. Приймаков О.Г., Приймаков Г.О., Чотій Л.Ю, Розрахунок на повзучість деталей авіаційної техніки.– Вестник науки и техники.– 2003. Вип.4.– с.28-34.
10. Костецкий Б.И., Калиниченко Н.В. Качество поверхности и трение в машинах.–К.:Техника,1969.– 215с.
11. Приймаков О.Г., Чотій Л.Ю., Стадніченко М.Г. Про механізми структурної пристосовуваності при абразивному зношуванні матеріалів.– Проблеми трибології/ міжнародний науковий журнал.– 2004.– №2.– С.113-121.
12. Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела.– М.: Машиностроение, 1988.– 488 с.

УДК 621.529.4 : 004. 43

Приймаков О.Г., Бобровицкий О.В., Лисяк О.О., Приймаков Г.О.

### **ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ДІАГНОСТУВАННЯ НАДІЙНОСТІ, ДОВГОВІЧНОСТІ ТА ВИТРИВАЛОСТІ АВІАЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Создан и описан программный продукт реализации математической модели диагностирования технического состояния авиационных конструкций логическим методом с использованием рекурсивного адаптивного фильтра оценки ("черный ящик") с обратной связью. Программа представляет собой приложение на языке программирования Borland C ++ Builder 6.0 с использованием библиотеки визуальных составляющих Visual Component Library; для сохранения данных используется формат базы данных Paradox 7, а для доступа к ним – Borland Database Engine.

Создана методология диагностирования надежности, долговечности и выносливости авиационной техники.