

Я.М. Кусий, А.М. Кук

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УСПАДКОВУВАННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИРОБУ НА СТАДІЇ СТВОРЕННЯ ЙОГО ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Анотація. Відзначено безпосередній зв'язок технологічного забезпечення регламентованих параметрів якості виробів із етапами та стадіями їх життєвих циклів. На основі аналізу літературних джерел визначено пріоритетність інформаційного забезпечення сучасного машинобудівного виробництва в умовах самоорганізації технічних систем при проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей машин. Розроблено принципову схему формування параметрів якості виробів із врахуванням усіх етапів стадії створення його життєвого циклу та запропоновано вираз для прогнозування імовірності невідбракування $P(t)$ придатних до подальшої експлуатації виробів із врахуванням технологічного успадкування.

Ключові слова: якість, життєвий цикл виробу, технологічний процес, технологічне середовище, технологічне успадкування, гомогенність, пошкоджуваність, заготовка

Постановка проблеми. Для сучасної машинобудівної галузі ускладнення умов експлуатації (зростання питомих контактних навантажень, температур тощо) деталей зокрема і машин загалом при зниженні їх жорсткості (зменшення габаритних розмірів і маси) спричинює підвищення вимог до точності їх функціонування, ефективності роботи (силові характеристики, економічні показники ККД тощо) і прогнозування поведінки у визначений період відповідно до життєвих циклів виробів [1-4].

Технологічне забезпечення регламентованих технічними вимогами параметрів точності, якості поверхневих шарів деталей машин, їх експлуатаційних характеристик і показників надійності пов'язане з етапами та стадіями життєвих циклів виробів: конструкторсько-технологічною підготовкою виробництва (раціональний вибір конструктивних схем і матеріалів, обґрунтовані розрахунками із врахуванням усіх впливів під час експлуатації деталей і машин; оптимізація режимів оброблення на сучасних металорізальних верстатах із застосуванням прогресивного інструменту), етапом виготовлення (ретельний контроль матеріалів і комплектуючих; високий рівень організації та контролю ТП виготовлення деталей і складання машин;

належні випробування окремих елементів, вузлів і агрегатів тощо). Усунення технологічних дефектів при обкатці та припрацюванні, чітка організація системи технічного обслуговування та ремонтів зводять до мінімуму відмови на стадії експлуатації виробів [5, 6].

Незважаючи на різноманіття конструкцій машин, їх технічних характеристик, забезпечення експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів технологічними методами покликане вирішувати важливі проблеми [2]: аналіз, оцінку та прогнозування експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів на етапах конструкторсько-технологічної підготовки (апріорні методи); експериментальну оцінку проектного рівня експлуатаційних характеристик і показників надійності за результатами випробувань на кінцевому етапі стадії виробництва або початкових етапах стадії експлуатації (апостеріорні методи); впровадження заходів стосовно досягнення і забезпечення експлуатаційних характеристик і показників надійності виробів шляхом оптимізації структури експлуатації деталей і машин (оптимізаційні задачі).

Прогностичний характер зв'язків між функціональними властивостями виробу та технологією їх забезпечення потребує ґрунтовних теоретико-експериментальних досліджень на сучасному етапі розвитку технології машинобудування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У той же час раціональне керування технологічним успадкуванням властивостей матеріалу виробу для забезпечення його експлуатаційних характеристик в умовах самоорганізації структур служить методологічною основою проектування прогресивних технологічних процесів виготовлення деталей і складання машин [3, 4].

Упорядкування стану системи пов'язано із узгодженою поведінкою підсистем, що формують єдине ціле із новими властивостями і математичним описом взаємозв'язків елементів, причому сама система є підсистемою системи вищого порядку [7]. При виготовленні машинобудівного виробу етапи конструкторської підготовки виробництва (КПВ), технологічної підготовки виробництва (ТПВ) і етап виготовлення служать підсистемами стадії його створення, що разом із стадією експлуатації формують життєвий цикл визначеної машинобудівного продукту.

Загальні закони еволюції технічних систем формуються на підставі системного функціонально-морфологічно-інформаційного аналізу за допомогою

дослідження взаємозв'язків і взаємовпливів функціонального, морфологічного та інформаційного опису [7, 8].

Функціональні процеси у системі тісно пов'язані з інформаційними. Джерелом інформації для функціонування системи є внутрішній ресурс і середовище, а носієм – речовина та енергія. Внутрішня енергія визначає розвиток, цілі та діяльність системи [7, 8].

З позиції адитивності інформації I для множини R_0 N незалежних прогнозованих реалізацій системи $R_0 \in [R_{01}; R_{0N}]$ залежність [8]:

$$I\left(\prod_{i=1}^N R_{0i}\right) = I(R_{01}) + \dots + I(R_{0N}), \quad (1)$$

матиме єдиний розв'язок у вигляді [8]:

$$I = K \ln(R_0), \quad (2)$$

де $K = \log_b(e)$ – стала величина; індекс b характеризує індивідуальні особливості підсистем [8]; при вираженні інформації в бітах $b=2$ [7].

Інформація на один символ i служить кількісним показником при еволюції інформаційних потоків [7]:

$$i = -K \sum_{j=1}^k p_j \cdot \ln(p_j), \quad (3)$$

де p_j – імовірність j -того стану системи із k можливих.

Сумарна інформація, що описує еволюцію системи за умови безпосереднього взаємозв'язку між невизначеністю стану об'єкта та його фізичними властивостями представлена залежністю [8]:

$$I = -k \cdot \sum_{j=1}^k p_j \cdot \log_b(p_j), \quad (4)$$

Взаємозв'язки між причинами та діями у системі описуються рівняннями виду $\dot{q} = F_0(q(t); t)$ [9]:

$$\dot{q} = -\gamma \cdot q + F(t), \quad (5)$$

де q – параметр, що описує дію; γ – функція затухання; $F(t)$ – функція, що визначає зовнішній силовий вплив.

Розв'язок (5) представляє собою відклик системи на прикладене зусилля $F(\tau)$ [9]:

$$q = \int_0^t e^{-\gamma(t-\tau)} F(\tau) d\tau, \quad (6)$$

Значення q у визначений момент часу t залежить, крім впливів у даний момент часу, також і від успадковування подій у попередні моменти часу [8, 9].

Для множини підсистем q_μ , елементи яких пов'язані коефіцієнтами впливу із зовнішніми силами F_n , представимо рівняння (5) у матричній формі [9]:

$$\dot{q}_\mu = Aq_\mu + B(F)q_\mu + C(F), \quad (7)$$

де A, B – незалежні від q_μ матриці.

При ототожненні для умов самоорганізації зовнішніх сил із частинами власне системи ($F \rightarrow q_1, q \rightarrow q_2$), отримаємо дві підсистеми [8, 9]:

$$\dot{q}_1 = -\gamma_1 \cdot q_1 - a \cdot q_1 \cdot q_2, \quad (8)$$

$$\dot{q}_2 = -\gamma_2 \cdot q_2 + b \cdot q_1^2. \quad (9)$$

За наявності адіабатичного наближення [8]:

$$\gamma_2 \geq \gamma_1 \quad (10)$$

при $\dot{q}_2 = 0$ отримаємо розв'язок [9]:

$$q_2(t) \approx \gamma_2^{-1} \cdot b \cdot q_1^2(t) \quad (11)$$

Після підстановки (11) у (8), отримаємо:

$$\dot{q}_1 = -\gamma_1 \cdot q_1 - \frac{a \cdot b}{\gamma_2} \cdot q_1^3, \quad (12)$$

Розв'язки рівняння (12) при $\gamma_1 > 0$ і $\gamma_1 < 0$ є різними [8, 9]:

- при $\gamma_1 > 0$ і $\frac{a \cdot b}{\gamma_2} > 0$ отримуємо стійкий розв'язок $q_1=0$;

- при $\gamma_1 < 0$ і $\frac{a \cdot b}{\gamma_2} > 0$ отримуємо нестійкий розв'язок $q_1=0$ і два стійких

розв'язки $\pm \sqrt{\gamma_1 / \left(\frac{a \cdot b}{\gamma_2} \right)}$, причому згідно (11) $q_2 \neq 0$

У даному випадку проявляються два основних синергетичних поняття: замість великого числа змінних для різних q достатньо розглянути лише одне рівняння для q_1 , а потім згідно принципу підпорядкування виразити q через q_1 . У такому випадку q_1 виступають модами (параметрами порядку) системи, які визначають ступінь її впорядкованості та підпорядковують собі інші підсистеми [8].

Встановлено [7-9], що частина підсистем $q_j = q^{(var)} \in (j=1 \dots m)$ відповідає нестійким модам, а інша – $q_j = q^{(s)} \in (j=m+1 \dots k)$ – підпорядковується стійким.

При переведенні систем внаслідок самоорганізації у стан $q^{(s)}$ вплив флуктуацій та оптимізаційних критеріїв приводить до їх еволюції, причому величина флуктуації параметра порядку має вирішальне значення на характер функціонування систем [9].

В самоорганізованих системах керування її адаптивністю та надійністю забезпечується умовами формування та величинами флуктуацій за рахунок зміни кількості підсистем [7, 8]. При адитивності величини повного виходу для підпорядкованим стійким модам інформаційних підсистем отримуємо [9]:

$$q^{(s)} = q_d^{(s)} + q_r^{(s)}, \quad (13)$$

де $q_d^{(s)}$, $q_r^{(s)}$ – відповідно чітко визначений детермінований і флуктуючий (з розсіяними характеристиками) входи.

Загальна величина виходу [9]:

$$q_\Sigma = \sum_s q^{(s)} = \sum_{j=m+1}^k q_j, \quad (14)$$

Відповідно до граничної центральної теореми для взаємно незалежних випадкових змінних залежності для середнього значення $E(q_\Sigma)$ і дисперсії $\sigma^2(q_\Sigma)$ мають вигляд [9]:

$$E(q_\Sigma) = s \cdot M, \quad (15)$$

$$\sigma^2(q_\Sigma) = s \cdot \sigma^2, \quad (16)$$

де $M = \frac{1}{k - (m + 1)} q_\Sigma$.

Центральна гранична теорема розподілу імовірності нової випадкової змінної Y_s для граничного випадку $s \rightarrow \infty$ [9]:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(a < Y_s \leq b) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^b e^{-\xi^2/2} d\xi, \quad (17)$$

де $Y_s = \frac{q_\Sigma - s \cdot M}{\sigma \cdot \sqrt{s}}$.

При $a=x$ і $b=x+dx$ в наближенні отримуємо [9]:

$$P(x_1 \sigma \sqrt{s} < (q_\Sigma - s \cdot M < x_2 \sigma \sqrt{s}) \approx \Phi(x_2) - \Phi(x_1), \quad (18)$$

де

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\xi^2/2} d\xi. \quad (19)$$

Повний вихід системи (14) збільшується пропорційно числу підсистем s або реалізуючих їх характеристик і критеріїв, флуктуації зростають лише як \sqrt{s} (в реальних процесах пригнічення розсіювання характеристик відбувається ще інтенсивніше). Поблизу точки виникнення нестійкості за рахунок істотної відмінності стійкі моди підлаштовуються під нестійкі і можуть бути виключені, що приводить до упорядкування системи за рахунок значного зменшення ступенів вільності [9].

Встановлено [7-9], що перетворення підведеної ззовні до системи енергії на мікроскопічному рівні внаслідок еволюції забезпечує впорядкованість на макроскопічному рівні.

Згідно синергетичного підходу технологічне забезпечення вихідних параметрів виробів відповідно до необхідних експлуатаційних характеристик і показників надійності реалізується обмеженою кількістю раціональних варіантів взаємодій виробу із технологічним середовищем при необхідній кількості стійких зв'язків в інформаційно-технологічній системі підготовки виробництва виробів на етапах і стадіях його життєвого циклу [10, 11].

Мета дослідження. Метою даного дослідження є розроблення принципової схеми формування параметрів якості виробу із прогнозуванням ймовірності невідбракування на стадії створення його життєвого циклу із врахуванням технологічного успадковування властивостей.

Викладення основного матеріалу дослідження. Врахування взаємовпливів всіх технологічних факторів і взаємозв'язків між ними відповідно до регламентованих вимог якості деталі у складі машини забезпечується узгодженням конструкторських і технологічних напрацювань на стадії створення виробу як частини його життєвого циклу. На етапах конструкторської, технологічної підготовки виробництва та етапі виготовлення стадії створення виробу відбувається формування його вихідних параметрів з позиції технологічного успадковування властивостей [3, 4].

Якість деталі, нормована відповідними показниками, формується як загальний результат формоутворення заготовки, технологічного процесу її механічного оброблення у взаємозв'язках із технологічним середовищем (системою верстат-пристрій-інструмент-заготовка), методами контролю тощо [2, 6].

Роль технології у формуванні параметрів якості виробів є визначальною. Встановлено, що при оптимальних режимах обробки суттєво підвищується довговічність виробів, в той час як нераціональні режими і неврахування явища накопичення дефектів на попередніх операціях, зокрема і на заготівельних, можуть спричинити руйнування поверхневого шару вже на етапі виготовлення або передчасне руйнування деталей при їх експлуатації [1-4].

Принципова схема формування параметрів якості виробу під час реалізації технологічного процесу його виготовлення складається з послідовних операцій – від заготівельної (0) до кінцевої (n) (рис. 1) [1, 2, 12]. На підставі множини вихідних параметрів реалізації технологічного процесу ви-

готовлення виробу X_1, X_2, \dots, X_m на етапах конструкторської та технологічної підготовки виробництва формується множина відправних значень $Y_{01}, Y_{02}, \dots, Y_{0j}$ технологічного процесу виготовлення (рис. 1). Кожна i -та технологічна операція внаслідок послідовного формоутворення заготовки як результату взаємодії із технологічним середовищем характеризується своїми вихідними параметрами ($X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iq}$) [2].

У роботах [1, 2] вводиться термін «імовірності безвідмовності технологічного процесу» на i -тій технологічній операції $P_i(t)$, для визначення якої проф. О.С. Проніков рекомендує застосовувати загальні методи теорії надійності для кожної операції технологічного ланцюжка відправна заготовка-готова деталь. Зокрема, імовірність $P_0(t)$ характеризує імовірність безвідмовності технологічного процесу на заготівельній технологічній операції, $P_1(t)$ – на першій операції ТП, $P_n(t)$ – на n -ій операції ТП тощо [1, 2].

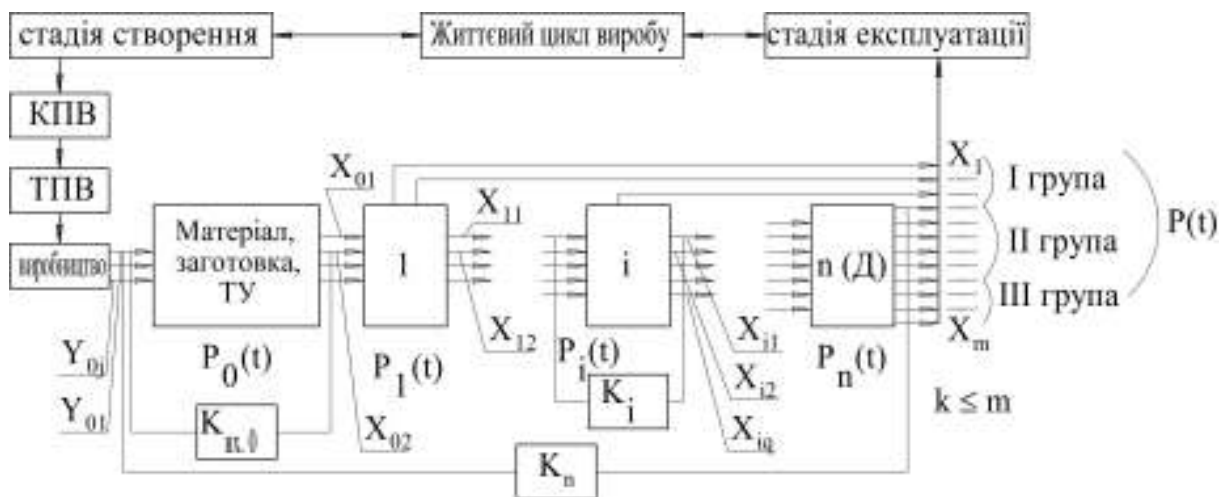


Рисунок 1 - Принципова схема формування параметрів якості виробу під час реалізації технологічного процесу його виготовлення

У той же час технологічне забезпечення «імовірності безвідмовності технологічного процесу» на i -тій технологічній операції $P_i(t)$ зокрема і технологічного процесу $P(t)$ загалом є важко реалізованим вже на етапі забезпечення експлуатаційних характеристик виробу по таких причинах [2]: складність та імовірнісна природа залежностей параметрів ТП і експлуатаційних характеристик, які визначають показники надійності; залежність експлуатаційних характеристик виробу від режимів і умов роботи машини, як правило, невідомих технологу; неможливість врахування усіх

параметрів виробу, що мають вагомий вплив на формування експлуатаційних характеристик через складність фізичних явищ при реалізації ТП.

Кожний технологічний процес супроводжується залишковими та побічними явищами, які впливають на експлуатаційні характеристик та показники надійності [5, 6].

Із проведеного аналізу випливає важливість ґрунтовного дослідження технологічного успадковування параметрів якості для забезпечення експлуатаційних характеристик і пов'язаних з ними показників надійності деталей і машин для визначення рівня відповідності їх поточних технічних характеристик відправним значенням з метою попередження технологічних пошкоджень та відмов. Тому параметр $P_i^{III}(t)$ інтерпретуватимемо як імовірність невідбракування придатних до подальшої експлуатації виробів на i -тій операції технологічного процесу, що визначається впливом технологічного середовища (рис. 1). Зокрема, імовірність $P_1^{III}(t)$ характеризує невідбракування придатних до подальшої експлуатації виробів на першій технологічній операції, а $P_n^{III}(t)$ – на n -ій операції ТП тощо.

Формування вихідних параметрів відбувається в результаті послідовного оброблення заготовки, що забезпечується принципами технологічного успадковування [3, 4]. Для кожної операції, як правило, призначені свої нормативні показники, які мають бути забезпечені в результаті виконання технологічних переходів даної технологічної операції при виготовленні кінцевого виробу.

Тому загальна імовірність $P(t)$ – імовірність невідбракування готової деталі, що визначається неперевищенням будь-яким з технологічних параметрів границь допуску протягом усього технологічного процесу виготовлення виробу – формується на основі особливостей груп показників вихідних параметрів ТП [2, 12]:

1. Незначна частина вихідних параметрів проміжних операцій (зокрема характеристику матеріалу) переходять у розряд кінцевих (параметри I групи, рис. 1).

2. Фінішні та викінчувальні технологічні операції забезпечують формування регламентованих ТУ параметрів точності оброблення та якості поверхні (параметри II групи, рис. 1).

3. Відповідно до технологічного успадковування властивостей частина вихідних параметрів (III група, рис. 1) функціонально пов'язана з параметрами попередніх проміжних операцій.

4. Характеристики матеріалу, заготовки при неналежному вхідному контролі або його відсутності впливають на формування кінцевих параметрів виробу.

5. Контрольні операції (K , рис. 1) служать для своєчасного виявлення та недопущення браку на різних стадіях ТП.

Ефективність вихідного контролю характеризується імовірністю коректного вимірювання контрольованого параметра згідно ТУ P^k . Зважаючи на небезмежні можливості контрольних операцій у визначеному ТП виготовлення виробу, необхідно мінімізувати їх кількість з огляду на додаткові матеріальні витрати [1, 2].

Імовірність невідбракування виробу на i -тій технологічній операції $P_i(t)$ визначають за формулою [2]:

$$P_i(t) = \prod_1^{q_i} [1 - (1 - P_X(t)) \cdot (1 - P_X^k(t))], \quad (20)$$

де q_i – число вихідних параметрів для i -тої технологічної операції; P_X – імовірність забезпечення X -го параметра у межах допуску; P_X^k – імовірність коректного вимірювання контрольованого параметра X .

Із врахуванням визначеності j -го параметра для i -тої технологічної операції формула (20) матиме вигляд:

$$P_i(t) = \prod_{j=1}^{q_i} [1 - (1 - P_{X_{ij}}^{ТП}(t)) \cdot (1 - P_{X_{ij}}^k(t))]. \quad (21)$$

де X_{ij} ($j \in [1; q_i]$) – визначений j -ий вихідний параметр X для i -тої технологічної операції.

Для технологічного процесу загалом із врахуванням незалежного впливу імовірності невідбракування виробів $P_0(t)$ на заготівельній технологічній операції та при незалежному формуванні кожного вихідного параметра імовірність невідбракування деталі $P(t)$ при реалізації технологічного процесу її виготовлення визначається за формулою:

$$P(t) = P_0(t) \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t) = P_0 \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{q_i} [1 - (1 - P_{X_{ij}}^{ТП}(t)) \cdot (1 - P_{X_{ij}}^k(t))]. \quad (22)$$

Вихідні параметри після останньої технологічної операції: $X_{nj}=X_j(j \in [1; m])$.

Множина вихідних параметрів q_i для i -тої технологічної операції формує множину вхідних параметрів для $(i+1)$ операції, однак лише частина із них входить до множини параметрів I групи вихідних параметрів кінцевого виробу: $q_{oi} < q_i$ [1, 2].

Тоді сумарна кількість вихідних параметрів [1, 2]:

$$m = q_n + \sum_{i=1}^{n-1} q_{oi}. \quad (23)$$

де q_n – число вихідних параметрів, отриманих на останній операції; q_{oi} – число вихідних параметрів для i -тої технологічної операції, які формують вихідні параметри I групи.

Із врахуванням (23) формула (22) матиме загальний вигляд для прогнозування невідбракування деталі для множини m відправних параметрів:

$$P(t) = P_0(t) \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t) = P_0 \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \left[1 - \left(1 - P_{X_{ij}}^{III}(t) \right) \cdot \left(1 - P_{X_{ij}}^k(t) \right) \right]. \quad (24)$$

У машинобудівному виробництві формування вихідних технологічних параметрів здійснюється в умовах сукупності взаємовпливів та функціональних зв'язків виробу із технологічним середовищем. Однак із їх врахуванням залежність (24) суттєво ускладнюватиметься із збільшенням кількості операцій у ТП виготовлення виробу.

Для неконтрольованих X_{ij} параметрів на i -тій технологічній операції $P_{X_{ij}}^k(t) = 0$, і ймовірність його забезпечення повністю визначається сукупністю реалізованих взаємозв'язків системи ВПІЗ. Для абсолютно надійного контролю $P_{X_{ij}}^k(t) = 1$ (добуток перетворюється у нуль для j -того параметра на даній операції), що виключає можливість виготовлення деталі на i -тій операції з недопустимим значенням j -того параметра.

Математична залежність (24) дозволяє прогнозувати невідбракування деталі відповідно до раціональної структури технологічного процесу її виготовлення на етапі виробництва стадії створення життєвого циклу виробу.

На етапі конструкторської підготовки виробництва при використанні сучасних САД систем розробляються, аналізуються, досліджуються деталі, складальні одиниці та машини відповідно до експлуатаційних вимог. Імовірність відбракування виробу за j -им вихідним параметром на i -тій технологічній операції за результатами конструкторської підготовки виробництва буде враховуватися складником:

$$F_{X_{ij}}^{KIII}(t) = \left(1 - P_{X_{ij}}^{KIII}(t) \right). \quad (25)$$

На етапі технологічної підготовки виробництва при комп'ютерному моделюванні об'єктно-орієнтованих технологічних процесів отримують математичні залежності, що прогнозують формування формалізованих показників якості виробів. Поряд з тим при імітаційному реологічному моделюванні напружено-деформованого та термодинамічного стану виробу в

процесі його формоутворення прогнозують формування відправних параметрів виробів із забезпеченням їх експлуатаційних характеристик і дотримання вимог стосовно точності оброблення та параметрів якості їх функціональних поверхонь. Імовірність відбракування виробу за j -им вихідним параметром на i -тій технологічній операції за результатами технологічної підготовки виробництва буде враховуватися складником:

$$F_{X_{ij}}^{ТПВ}(t) = (1 - P_{X_{ij}}^{ТПВ}(t)). \quad (26)$$

Вплив розроблених на етапі КПВ конструктивних рішень і проектних розрахунків, розроблених на етапі ТПВ математичних моделей на формування вихідних параметрів врахуємо через імовірність технологічного забезпечення j -го вихідного параметра виробу на i -тій технологічній операції $P_{X_{ij}}^{ТПП}(t)$, що відобразиться у формулі:

$$\begin{aligned} P(t) &= P_0(t) \cdot \prod_{i=1}^n P_i(t) = \\ &= P_0 \cdot \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^m \left[1 - (1 - P_{X_{ij}}^{КПП}(t)) (1 - P_{X_{ij}}^{ТПВ}(t)) (1 - P_{X_{ij}}^{ТП}(t)) (1 - P_{X_{ij}}^k(t)) \right] \end{aligned} \quad (27)$$

Математична залежність (27) дозволяє прогнозувати імовірність невідбракування виробу $P(t)$ при реалізації технологічного процесу його виготовлення за умови незалежного формування кожного вихідного параметру деталі на стадії створення виробу.

Залежно від конструктивних особливостей, регламентованих технічних вимог до точності оброблення та якості поверхневих шарів виробів, їх експлуатаційних характеристик формуються умови абсолютно надійного забезпечення елемента (елементів) множини $P_{X_{ij}}^Z \in [P_{X_{ij}}^{КПП}; P_{X_{ij}}^{ТПВ}; P_{X_{ij}}^{ТП}; P_{X_{ij}}^k]$, що визначає імовірність невідбракування заготовки/деталі за j -тим параметром на i -тій технологічній операції.

При дослідженні фізичних процесів при виготовленні виробів на субмікроскопічному рівні для визначення складових формули (27) потрібно враховувати закон сумування пошкоджуваності протягом етапів і стадій життєвого циклу виробу [12-14]:

$$D = \sum D_j, \quad -- \quad (28)$$

де D (damageability) – сумарна пошкоджуваність виробу; D_j – пошкоджуваність для j -ого часового інтервалу життєвого циклу виробу.

Для аналізу процесів зародження та формування дефектів на стадії створення виробу запропоновано параметр технологічної пошкоджуваності

D [3, 4, 12], який обчислюють за формулою:

$$D = 1 - \frac{m_x}{m_{matr.}}, \quad (29)$$

де m_x – значення коефіцієнта Вейбулла для x -ого перерізу серії вимірювань;
 $m_{matr.}$ – значення коефіцієнта Вейбулла для основного матеріалу.

Коефіцієнт гомогенності Вейбулла визначають за формулою [15]:

$$m = \frac{d(n)}{2,30259 \cdot S(\lg(H))}, \quad (30)$$

де $d(n)$ – параметр, що залежить від кількості вимірювань n

$$S(\lg(H)) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\lg(H_i) - \overline{\lg(H)})^2}, \quad (31)$$

$$\overline{\lg(H)} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \lg(H_i). \quad (32)$$

Висновки. Розроблено структурну схему формування параметрів якості виробу із врахуванням усіх етапів стадії створення його життєвого циклу. Запропоновано математичну залежність для прогнозування імовірності невідбракування придатних до подальшої експлуатації машинобудівних виробів $P(t)$ із врахуванням конструктивних рішень, проектних розрахунків, математичних моделей, структури та параметрів технологічного процесу із врахуванням технологічного успадковування властивостей. Подальші дослідження у цьому напрямку пов'язані з оптимізацією конструктивно-технологічних рішень і структури технологічних процесів із врахуванням технологічної спадковості при раціональному поєднанні заготівельних, проміжних, фінішних і викінчувально-зміцнювальних операцій.

ЛІТЕРАТУРА / LITERATURE

1. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М. : Машиностроение, 1978. – 592 с.
2. Проников А.С. Параметрическая надежность машин / А.С. Проников. – М. : Изд.-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 560 с.
3. Kusiya Ya.M. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle / Ya.M. Kusiya, A.M. Kuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1426. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012034/pdf>. doi:10.1088/1742-6596/1426/1/012034.

4. Kusyi Ya., Stupnytskyu V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting / Ya. Kusyi, V. Stupnytskyu // Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. – P. 276-284.
5. Болотин В.В. Прогнозирование ресурса машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1984. – 312 с.
6. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций / В.В. Болотин. – М.: Машиностроение, 1990. – 448 с.
7. Haken H., Portugali J. Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition / H. Haken, J. Portugali. – Berlin: Springer, 2015. – 90 p.
8. Haken H. Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems: Third Enlarged Edition / H. Haken. – Berlin: Springer, 2006. – 258 p.
9. Хакен Г.: Синергетика / Г. Хакен. – М.: Мир, 1980. – 400 с.
10. Problem of technological inheritance in machine engineering / V. Blumenstein, K. Rakhimyanov, M. Heifetz [and others] // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1698 (1). – P. 2-7.
11. Kheifetz M.L., Vasilyev A.S., Klimenko S.A. Technological Control of the Heredity of Operational Quality Parameters for Machine Parts / M.L. Kheifetz, A.S. Vasilyev, S.A. Klimenko // Advanced Materials & Technologies. – 2019. – Vol. 2 (14). – P. 8-18.
12. Кусий Я. М. Технологічне успадковування властивостей при забезпеченні параметрів якості виробу в процесі його виготовлення / Я. М. Кусий // Системні технології. – 2019. – Т.5 № 124. – С. 171-184.
13. Xue L. Constitutive modeling of void shearing effect in ductile fracture of porous materials / L. Xue // Engineering Fracture Mechanics. – Volume 75 (11). – 2008. – P. 3343–3366.
14. Lian J. A hybrid approach for modelling of plasticity and failure behaviour of advanced high-strength steel sheets / J. Lian, M. Sharaf, F. Archie., S Mu'nstermann // International Journal of Damage Mechanics. Vol. 22 (2). – 2008. – P. 188–218.
15. Lebedev A.A., Muzyka N.R., Volchek N.L. A new method of assesment of material degradation during its operating time / A.A. Lebedev, N.R. Muzyka, N.L. Volchek // Zaliznychnyi Transport Ukrainy. – Vol. 5. – 2003. – P. 30–33.

REFERENCES

1. Pronikov A. S. Machines reliability / A.S. Pronikov. – Moscow: Mechanical engi-

neering, 1978. – 592 p. (in Russian)

2. Pronikov A. S. Parametric reliability of machines / A.S. Pronikov. – Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publishing House, 2002. – 560 p. (in Russian)

3. Kusiya Ya.M. Investigation of the technological damageability of castings at the stage of design and technological preparation of the machine Life Cycle / Ya.M. Kusiya, A.M. Kuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Volume 1426. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1426/1/012034/pdf>. doi:10.1088/1742-6596/1426/1/012034.

4. Kusiya Ya., Stupnytskyy V. Optimization of the Technological Process Based on Analysis of Technological Damageability of Casting / Ya. Kusiya, V. Stupnytskyy // Advances in Design, Simulation and Manufacturing III. Proceedings of the 3rd International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2020, June 9-12, 2020, Kharkiv, Ukraine. – 2020. – Volume 1: Manufacturing and Materials Engineering. – P. 276-284.

5. Bolotin V.V. Prediction of machines and structures resource / V.V. Bolotin. – Moscow: Mechanical engineering, 1984. – 312 p. (in Russian)

6. Bolotin V.V. Resource of machines and structures / V.V. Bolotin. – Moscow: Mechanical engineering, 1990. – 448 p. (in Russian)

7. Haken H., Portugali J. Information Adaptation: The Interplay Between Shannon Information and Semantic Information in Cognition / H. Haken, J. Portugali. – Berlin: Springer, 2015. – 90 p.

8. Haken H. Information and Self-Organization. A Macroscopic Approach to Complex Systems: Third Enlarged Edition / H. Haken. – Berlin: Springer, 2006. – 258 p.

9. Haken H. Synergetics / H. Haken. – Moscow: World, 1980. – 400 p. (in Russian)

10. Problem of technological inheritance in machine engineering / V. Blumenstein, K. Rakhimyanov, M. Heifetz [and others] // AIP Conference Proceedings. – 2016. – Vol. 1698 (1). – P. 2-7.

11. Kheifetz M.L., Vasilyev A.S., Klimenko S.A. Technological Control of the Heredity of Operational Quality Parameters for Machine Parts / M.L. Kheifetz, A.S. Vasilyev, S.A. Klimenko // Advanced Materials & Technologies. – 2019. – Vol. 2 (14). – P. 8-18.

12. Kusiya Ya.M. Technological inheritability of properties for providing of quality parameters of part during its manufacturing / Ya.M. Kusiya // System technologies. – 2019. – Vol. 5 (124). – P. 171-184. (in Ukrainian)

13. Xue L. Constitutive modeling of void shearing effect in ductile fracture of porous materials / L. Xue // Engineering Fracture Mechanics. – Vol. 75 (11). – 2008. – P. 3343–3366.
14. Lian J. A hybrid approach for modelling of plasticity and failure behaviour of advanced high-strength steel sheets / J. Lian, M. Sharaf, F. Archie., S Muñstermann // International Journal of Damage Mechanics. Volume 22 (2). – 2008. – P. 188–218.
15. Lebedev A.A., Muzyka N.R., Volchek N.L. A new method of assesment of material degradation during its operating time / A.A. Lebedev, N.R. Muzyka, N.L. Volchek // Zaliznychnyi Transport Ukrainy. – Vol. 5. – 2003. – P. 30–33.

Received 13.04.2021.

Accepted 15.04.2021.

Технологическое наследования свойств изделия на стадии создания его жизненного цикла

Проанализированы взаимосвязи технологического обеспечения регламентированных параметров качества изделий с этапами и стадиями их жизненных циклов. Показана приоритетность информационного обеспечения современного машиностроительного производства в условиях самоорганизации технических систем при проектировании технологических процессов изготовления деталей машин. Разработана принципиальная схема формирования параметров качества изделий с учетом всех этапов стадии создания его жизненного цикла и предложена математическая модель для прогнозирования вероятности отсутствия брака $P(t)$ пригодных к дальнейшей эксплуатации изделий с учетом технологического наследования. Дальнейшие исследования связаны с оптимизацией конструктивно-технологических решений и структуры технологических процессов с учетом технологической наследственности при рациональном сочетании заготовительных, промежуточных, финишных и отделочно-упрочняющих операций.

Technological inheritability of product properties at the development and production stage of its Life Cycle

The relationships of technological providing of standart quality parameters of products with the substages and stages of their Life Cycles is analyzed. The prognostic nature of the relationships between the functional properties of the product and the technology of their providing requires thorough theoretical and experimental research for the modern mechanical manufacturing. The priority of information support of modern mechanical engineering production in the conditions of self-organization of technical systems at designing of technological processes of products manufacturing is noted. The general laws of evolution of technical systems are formed on the basis of system functional, morphological, informational analysis by studying the relationships and interactions of functional, morphological and informational description. The actuality of the study of the processes of damage accumulation and material degradation for the characteristic types of products destruction is argued. The expediency of a synergetic approach in the analysis of technical objects and technological systems is established. The goal of this research is to develop a principal scheme for the forma-

tion of quality parameters of part with predict of the probability of its failure in manufacturing, taking into account the technological inheritability of properties. The basic scheme of formation of products quality parameters taking into account all substages of development and production stage of its Life Cycle is developed. The mathematical model for predicting the probability of non-defect production $P(t)$ of products suitable for further operation, taking into account technological inheritability, is proposed. Further research is related to the optimization of design and technological solutions and the structure of technological processes, taking into account the technological inheritability with a rational combination of blanking, intermediate, finishing and final-strengthening operations.

Кусий Ярослав Маркіянович – к.т.н., доцент, докторант кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

Кук Андрій Михайлович – к.т.н., доцент кафедри робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування Національного університету «Львівська політехніка».

Кусый Ярослав Маркиянович – к.т.н., доцент, докторант кафедры робототехники и интегрированных технологий машиностроения Национального университета «Львовская политехника».

Кук Андрей Михайлович – к.т.н., доцент кафедры робототехники и интегрированных технологий машиностроения Национального университета «Львовская политехника».

Kusyi Yaroslav – PhD, associate professor, Doctoral Candidate of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies of Lviv Polytechnic National University (Ukraine).

Kuk Andrii – PhD, associate professor of the Department of Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies of Lviv Polytechnic National University (Ukraine).