

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОВТ

УДК 621.81:539.4

С.І. Задерієнко, Д.Є. Хаустов

Академія сухопутних військ, Львів

РЕГРЕСІЙНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ВЕЛИЧИНИ МЕЖІ ВИТРИВАЛОСТІ ЗРАЗКА ОВТ ПІД ДІЄЮ НЕСПРИЯТЛИВИХ ЧИННИКІВ

У роботі на основі аналізу досліджень Баушингера і Гріфітса представлена теоретико-емпірична композиція, що зв'язує за допомогою певної функціональної залежності несприятливі чинники різної природи, які діють на одиницю озброєння, військової техніки (ОВТ). Ця математична модель дозволяє, виходячи з особливостей поля несприятливих чинників, прогнозувати циклічну довговічність зразка ОВТ.

Ключові слова: озброєння і військова техніка, циклічна довговічність ОВТ, несприятливі чинники.

Постановка проблеми

Попри величезну кількість робіт, пов'язаних з питаннями прогнозування величини межі витривалості зразків ОВТ і оцінки циклічної довговічності металу (найбільшої в сенсі алгебри напруги, при якій матеріал, що знаходиться в умовах циклічної пружно-пластичної деформації, яка змінюється в часі, не руйнується задане число циклів), моделювання поведінки такого об'єкта, що знаходиться в умовах атаки несприятливих чинників, є актуальним і зараз. Існує безліч підходів до вирішення цієї проблеми [1–7]: прямі (багатозразкові і малозразкові) методи визначення межі витривалості; непрямі, засновані на припущенні про цілком певну залежність між межею витривалості і якою-небудь з механічних властивостей металу; статистичні, засновані на припущенні про переважність розподілу функцій характеристик об'єкта і так далі, але жоден з них не може розглядатися як універсальний, оскільки усі ці методи містять гіпотези, що тією або іншою мірою спотворюють реальність, або наближені емпіричні залежності, що не є загальними, а справедливі лише для конкретного окремого випадку.

Істотним недоліком емпіричних методів (прямих, непрямих і ін.) є необхідність проводити величезну кількість експериментів при фіксованих значеннях характеристик об'єкта (наприклад, вид матеріалу зразка ОВТ, шорсткість його поверхні, наявність лакофарбового покриття, набір концентраторів деформації, спосіб зміцнення поверхневого шару і так далі); при незначній зміні величини хоча б однієї з властивостей доводиться знову повторювати експеримент з метою формування емпіричного блока інформації і його наступної статистичної обробки, що призводить до

істотних витрат часу на отримання хоч скільки-небудь цінних в практичному сенсі даних.

У статистичних методах передбачається, що нам вже завчасно відомі інтегральні функції розподілу характеристик зразка ОВТ, які визначають його поведінку в полі несприятливих чинників. Проте в деяких випадках обраний розподіл незадовільно узгоджується з реальним станом речей, наприклад, в окремому зразку певної конфігурації передбачається відомою функція розподілу апріорних дефектів (дефекти Шотки, Френкеля, каверни, порожнечі, металургійні надрізи тощо) [3–6], але абсолютно очевидно, що істинний розподіл дефектів може дуже істотно відрізнятися від прийнятого (рис. 1). Доречно зауважити, що в цій ситуації, в усякому разі поки що, не існує іншого способу обліку розподілу апріорних дефектів. Точно визначити число дефектів різного характеру надзвичайно проблематично і складно, тому доводиться звертатися до апарата теорії ймовірності і використовувати один із класичних розподілів.

Отже, через різну природу несприятливих чинників і неповноту дослідження деяких з них пряме моделювання їх механізмів руйнування є досить важким, тому теоретико-емпірична композиція, яка зв'яже усі несприятливі чинники за допомогою деякої простої залежності, була б в практичному сенсі дуже корисна.

Метою цієї роботи є побудова такої математичної моделі, що зв'яже дію несприятливих чинників різної природи за допомогою зваженого деструкційного потоку.

Виклад основного матеріалу

Моделювання мікропроцесів (наприклад, поширення тріщиноподібного надрізу в пружно-пластичному тілі) або поведінки середовища зі

складними властивостями, що знаходиться в полі сил, як правило, пов'язане з істотними труднощами математичного характеру. В якості прикладу, що демонструє специфічну модель поведінки металу, можна навести ефект Баушингера, який проявляється в наступному: метал, що працює в умовах циклічної пружно-пластичної деформації під впливом односторонньої або знакозмінної напруги, неоднаково чинить опір напрузі різного знаку, що проявляється в зміні величини межі пропорційності.

Ймовірно, існує безліч різних ефектів, подібних до ефекту Баушингера, тому пряме моделювання об'єктів із складними властивостями призводить до синтезу неповністю адекватних моделей, тобто таких моделей, які враховують тільки деякі варіанти поведінки об'єкта.

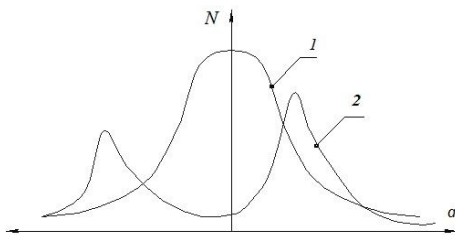


Рис. 1. Графічне представлення істинного і прийнятого розподілів апіорних дефектів, де по осі ординат відкладається число дефектів, а по осі абсцис - вид дефекту: 1 – нормальний розподіл Гауса (прийнятий); 2 – істинний розподіл дефектів

Для сприйняття наступної інформації визначимо деякі поняття.

Під m -мірною стійкістю об'єкта $[D_j^m]$, де D_j – потік несприятливих чинників, будемо мати на увазі здатність об'єкта (зразка ОБТ чи окремої конструкції) чинити опір дії m -несприятливих чинників різної природи (механічний знос, втома металу, корозія, термічна втома і так далі), що беруть участь в деструкційному процесі [3].

У даному випадку m -мірну стійкість об'єкта слід розуміти як властивість іманентну матерії, тобто як властивість будь-якого матеріального об'єкта.

Далі перейдемо до конструювання гіпотези, для цього спочатку без виводу запишемо рівняння Остроградського – Гаусса [4]

$$\eta = \iiint_V \operatorname{div} \bar{F} dv = \iint_{\sigma} \bar{n} \cdot \bar{F} d\sigma \quad (1)$$

У гідромеханічній інтерпретації поверхневий інтеграл в рівнянні (1) визначає кількість рідини, що витікає з області V через поверхню σ (в одиницю часу), а об'єм цієї рідини визначається потрійним інтегралом від дивергенції; \bar{F} – є вектор швидкості витікання рідини.

Узгодившись з цими міркуваннями, можна припустити, що в ході експлуатації об'єкта і контакту його з довкіллям відбувається вичерпання m -мірної стійкості об'єкта, що виражається, наприклад, в зародженні на поверхні окремої деталі втомної тріщини. Розглянемо це припущення на конкретному прикладі: нехай приводний вал гусеничного рушія танка сприймає вигинисто-крутильну напругу (тобто знаходиться в умовах складного напруженого стану), тоді в ході експлуатації танка на поверхні цього вала почне активізуватися інкубаційна стадія розвитку втомної тріщини, внаслідок вичерпання m -мірної стійкості приводного вала. Енергія, необхідна для існування об'єкта як єдиного цілого (далі енергія витривалості), немов покидає об'єкт, і це призводить до того, що зв'язки атомів, розташованих в зоні, в якій силовий чинник реалізує максимум, розриваються. Іншими словами, реалізується причинно-наслідковий зв'язок: причина – витікання енергії витривалості, слідство – зародження на поверхні втомної тріщини, її розвиток і подальший вихід об'єкта з ладу. У разі наїзду танка на міну може відбутись миттєве витікання енергії витривалості і руйнування приводного вала гусеничного рушія.

Через вищеописані обставини можна уявити, що вектор \bar{F} у рівнянні Остроградського-Гаусса є градієнт енергії витривалості E_w (енергії, яку необхідно витратити, щоб зберегти цілісність об'єкта), тобто

$$\bar{F} = \operatorname{grad}(E_w). \quad (2)$$

Важливо помітити, що фізичний сенс енергії витривалості E_w збігається з фізичним сенсом енергії Гріфітса Γ , яка забезпечує існування твердого тіла як єдиного цілого, а при утворенні нових поверхонь (з початкового розрізу) можна вважати, що енергія Γ має поверхневу природу і тому [4,7]

$$\delta \Gamma = 2\gamma \cdot \delta S, \quad (3)$$

де γ – інтенсивність поверхневої енергії, що витрачається на руйнування.

Об'єкт під впливом несприятливих чинників послідовно переходить з одного стану ушкодження в інший.

Тепер припустимо, що об'єкт знаходиться в стані $\{0\}$ (стані, якому відповідає $\max [E_w]$); далі помістимо об'єкт в поле несприятливих чинників D_j , тобто об'єкт знаходиться, наприклад, в умовах впливу односторонньої або знакозмінної напруги, що циклічно повторюється, або, приміром, активізуються електрохімічні корозійні процеси і тому подібне, що призводить до активізації процесу

вичерпання енергії витривалості із швидкістю grad (E_w).

Слід зазначити, що витрата енергії витривалості E_w (рис. 4) є величиною кінцевою, тобто

$$\eta = \iiint_V \text{div}(\text{grad}(E_w)) dv = \text{const} \quad (4)$$

У основу пропонованої регресійної моделі покладені наступні гіпотези:

1. Несприятливий потік D_i з інтенсивністю D_j впливає на об'єкт і може послідовно переводити його зі стану $\{0\}$ (стан, що характеризується відсутністю дії несприятливих чинників) у стан $\{1\}, \rightarrow \{2\}, \rightarrow \{3\}, \rightarrow \dots, \rightarrow \{h\}$ (лінійна регресія, рис. 2).

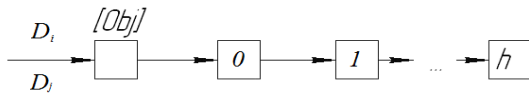


Рис. 2. Граф лінійної дії несприятливого потоку на об'єкт

Слід зазначити, що існує багато графів, що представляють нелінійну регресію властивостей об'єкта з можливістю часткового або повного відновлення (рис. 3 а). Подібні моделі враховують можливість усунути дефект від несприятливого чинника. Лінійний граф припускає безповоротний характер ушкоджень, що наносяться об'єкту. Іншими словами, зразок ОБТ перебуває під впливом несприятливого потоку, який не дозволяє зруйнувати зразок ОБТ миттєво.

Стану пошкодження об'єкта відповідає деяке певне значення m -мірної стійкості об'єкта (рис. 3 б), тобто

$$\begin{aligned} \rho_{D_j}^m [0] &= L_0, \rho_{D_j}^m [N_1] = L_1, \dots, \\ \rho_{D_j}^m [N_r] &= L_r, \dots, (r = 0, 1, \dots, h). \end{aligned} \quad (5)$$

Перехід об'єкта з одного стану ушкодження в інший можливий тільки за наступним правилом

$$\begin{aligned} \text{comb}_v [D]_{r-1} &\rightarrow \text{comb}_v [D]_r, \\ (r &= 1, 2, \dots, l), (v = 1, \dots, z). \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином, об'єкт може перейти тільки в стан, що характеризується більшою пошкодженістю.

2. Вичерпання m -мірної стійкості об'єкта відбувається згідно із законом

$$\rho_{D_j}^m = \frac{\iiint_V \text{div}[\text{grad}(E_w)] dv}{a_m \cdot N^m + \dots + a_1 N + a_0} = \frac{\eta}{P^m [N]}. \quad (7)$$

Міра полінома визначається числом несприятливих чинників, що беруть участь в процесі руйнації об'єкта.

У рівнянні (7) $a_j = \gamma_j \cdot D_j$, ($j = 1, 2, \dots, m$) – питома вага несприятливих чинників, тобто

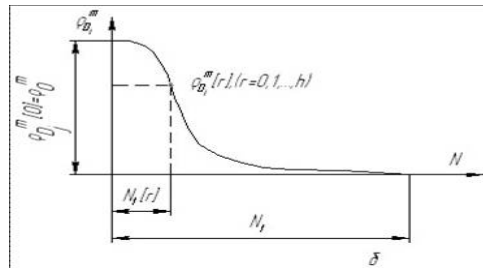
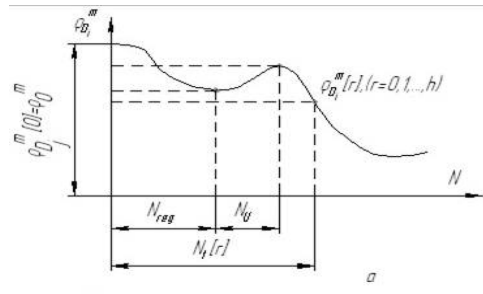


Рис. 3. Нелінійна регресія параметрів об'єкта: N_{reg} – область регресії; N_u – область часткового відновлення

формула $a_j = \gamma_j \cdot D_j$ дозволяє визначити вклад несприятливого чинника в процес руйнування, де γ_j – вага несприятливого чинника.

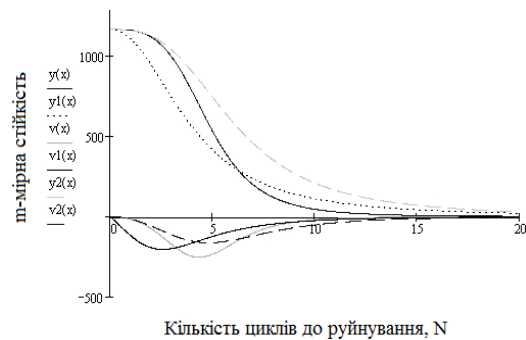


Рис. 4. Графічне представлення процесу вичерпання енергії витривалості

Оскільки загальний несприятливий потік D_i є сумою потоків від кожного несприятливого чинника, то справедливо наступне

$$\because D_i = \sum_{j=1}^m D_{i_j}, \Rightarrow D_i^* = \sum_{j=1}^m \gamma_j \cdot D_{i_j}, \quad (8)$$

де D_i^* – зважений несприятливий потік, тобто такий потік, кожному несприятливому чиннику якого присвоєна вага γ_j .

Функція $\rho_{D_j}^m(N)$ повинна задовольняти наступним граничним умовам (рис. 5)

$$\rho_{D_j}^m(N)_{N=0} = \rho_0^m, \rho_{D_j}^m(N)_{N=N_f} = 0. \quad (9)$$

Ваги несприятливих чинників визначаються за формулою

$$\rho_{D_j}^m = \frac{\eta}{P^m [a_{m-2}=0, a_j \neq 0, a_0 \neq 0]}, \quad (10)$$

$$(j = 0, 1, 2, \dots, m)$$

На рис. 5 для порівняння надані квазімонотонні регресійні криві і їх похідні $\frac{d}{dN}(\rho_{D_j}^m)$ з фіксованим значенням a_0 і різною вагомістю несприятливих чинників $a_j = \gamma_j \cdot D_j$.

Цікаво відмітити, що розглянута регресійна крива має три характерні області (рис. 5):

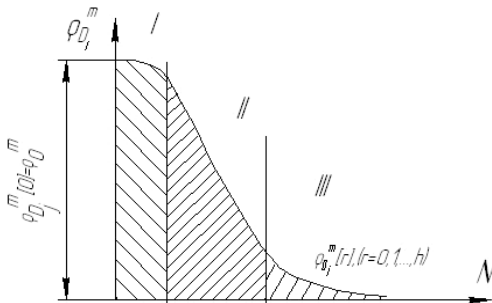


Рис. 5. Характерні області кривої вичерпання m -мірної стійкості об'єкта:

1 – область, в якій $\rho_{D_j}^m(N)$ мало відхиляється від ρ_0^m ;

2 – область сталої швидкості вичерпання стійкості

об'єкта, тобто $\frac{d}{dN}(\rho_{D_j}^m) \approx \text{const}$; 3 – область

асимптотичного прагнення, в якій $\rho_{D_j}^m \rightarrow 0$.

Висновки

Таким чином, рівняння (7) дозволяє визначити число циклів до виходу з ладу або руйнування зразка ОБТ, що знаходиться в умовах атаки від m несприятливих чинників, що беруть участь в

Регрессионная модель оценки величины границы стойкости образца ВВТ под воздействием неблагоприятных факторов

С.И.Задериенко, Д.Е.Хаустов

В работе на основе анализа исследований Баушингера и Гриффитса представлена теоретико-эмпирическая композиция, которая связывает с помощью некоторой функциональной зависимости неблагоприятные факторы разной природы, которые воздействуют на единицу вооружений, военной техники (ВВТ). Эта математическая модель позволяет, исходя из особенностей поля неблагоприятных факторов, прогнозировать циклическую долговечность образца ВВТ.

Ключевые слова: вооружение и военная техника, циклическая долговечность ВВТ, неблагоприятные факторы.

Regressive estimated model of the size of border of sample's resistance AMT under the influence of adverse factors

S.I. Zaderienko, D.E. Haustov

In work on the basis of the analysis of probes of Baushinger's and Griffiths's researches is presented theoretical-empirical composition, which connects by the functional dependence adverse factors of the different nature, which have influence on the unit of arms, military technology (AMT). This mathematical model allows, proceeding from features of a field of adverse factors, to predict cyclic durability of sample AMT.

Keywords: arms and military technology, cyclic durability AMT, adverse factors.

деструкційному процесі D_i з інтенсивністю D_j , при виборі коефіцієнта вагомості γ_j для кожного з руйнівних чинників.

Список літератури

1. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ: Збірка тез доповідей Другої Всеукраїнської науково-практичної конференції. 28-29 квітня 2009 р. – Львів: ЛІСВ, 2009. – 300 с.

2. Перспективи розвитку озброєння і військової техніки Сухопутних військ: Збірка тез доповідей Третьої Всеукраїнської науково-практичної конференції. 13-14 квітня 2010 р. – Львів: АСВ, 2010. – 310 с.

3. Бернштейн М.Л., Займовский В.А. Механические свойства металлов. – М.: Металлургия, 1979. – 495 с.

4. Партон В.З. Механика упругопластического разрушения. 2-е изд., перераб. и доп. / В.З. Партон, Е.М. Морозов. – М.: Наука, 1985. – 504 с.

5. Столяров В.В. Эффект Баушингера в ультрамелкозернистых металлах // Вестник научно-технического развития. – 2009. – №3(19). – С. 52-57.

6. Дегтярев М.В., Воронова Л.М., Чащухина Т.И. Влияние структуры железа и стали, созданной при большой пластической деформации, на кинетику превращений при нагреве // Металлы. – 2003. – №3. – С. 53-61.

7. Маслов Б., Шатило Л. Розподіл напружень біля кінця тріщини у матеріалі з мікропошкодженнями // Вісник Львівського університету, Сер. прикл. матем. та інформ. – 2005. – Вип. 10. – С. 122-126.

Рецензент: доктор технічних наук, старший науковий співробітник А.М. Зубков, Академія сухопутних військ, Львів.