

**Висновки.** Введено комплекс показників ефективності виконання цільових завдань спеціалізованого водного транспортного засобу, який представляє собою відносний час виконання відповідних технічних задач з урахуванням особливостей експлуатаційних вимог.

Запропоновано модульний принцип компоновки спеціальним обладнанням водного транспортного засобу, що дає змогу отримати найбільш раціональне його влаштування з точки зору введених показників ефективності виконання окремих цільових завдань. Відповідно до модульного підходу розроблено 5 варіантів компоновок.

### Література

1. Судовые устройства : справочник / под ред. М.Н. Александрова. – Л. : Изд-во "Судостроение", 1987. – 326 с.
2. Борисов Н.Н. Проектирование и техническая эксплуатация СВЭО / Н.Н. Борисов, Н.Н. Борисов, Н.А. Пономарев, С.Г. Яковлев. – Н. Новгород : Изд-во ВГАВТ, 1997. – 236 с.
3. Кропивницький В.С. Обґрунтування параметрів пожежних маломірних суден для проти-пожежного захисту берегової зони / В.С. Кропивницький, А.Я. Калиновський // 12-й Міжнародний симпозиум українських інженерів-механіків у Львові. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2015. – С. 176-177.
4. Капля А.М. Удосконалення державного управління систем запобігання й реагування на надзвичайні ситуації в Україні з використанням досвіду зарубіжних країн: проблеми та перспективи / А.М. Капля, В.С. Чубань, О.Г. Снісар // Пожежна безпека: теорія і практика. – 2013. – № 14. – С. 39-46.
5. Кодекс цивільного захисту України: чинне законодавство із змінами та допов. на 2015 рік (Відповідає офіц. текстові). – К. : Вид-во "Алерта", 2015. – 102 с.
6. Наказ МНС України від 03.12.2001 р., № 272 "Про затвердження Правил охорони життя людей на водних об'єктах України". [Електронний ресурс]. – Доступний з <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z0095-02>.
7. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2014 р. [Електронний ресурс]. – Доступний з [http://www.mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND\\_2014.pdf](http://www.mns.gov.ua/files/prognoz/report/2014/ND_2014.pdf).
8. Hughes V.M.P. A computer-assisted analysis of trends among Gulf Coast blowouts / V.M. P. Hughes, A.L. Podio, K. Sepehrmoori // In Situ;(USA). – 1990. – Т. 14, № 2. – Pp. 123-128.
9. Гурович А.Н. Проектирование спасательных и пожарных судов / А.Н. Гурович, А.А. Родионов. – Л. : Изд-во "Судостроение", 1971. – 283 с.

### **Кропивницький В.С. Определение показателей эффективности выполнения целевых задач водных транспортных средств при ликвидации чрезвычайных ситуаций**

Рассмотрены вопросы оценки эксплуатационной эффективности использования водного транспортного средства при выполнении определенных целевых задач с соблюдением требований охраны окружающей среды.

Разработан комплекс показателей выполнения целевых задач и критерии эффективности использования водного транспортного средства, учитывающие особенности диапазонов изменения эксплуатационных показателей в зависимости от вида целевого задания.

Предложен модульный принцип компоновки специальным оборудованием водного транспортного средства, позволяющего получить наиболее рациональное его устройство с точки зрения введенных показателей эффективности выполнения отдельных целевых задач. Согласно модульного подхода разработано 5 вариантов компоновок.

**Ключевые слова:** водное транспортное средство, ликвидация чрезвычайных ситуаций, показатель эффективности выполнения целевого задания.

### **Kropivnitskyi V.S. Determination of Performance Indicators of Execution of Target Tasks of Watercraft during Emergency Response**

The paper is devoted to evaluating operational efficiency of the use of watercraft when performing certain target tasks in compliance with the requirements of environmental protection. We have developed a set of performance indicators of execution of target tasks and criteria for the use of watercraft, especially considering the range of variation of operating characteristics depending on the type of the target task. It proposes a modular approach to build special watercraft equipment allowing it to get the most efficient device in terms of the imposed performance indicators of individual targets. According to the modular approach five options for layouts are designed.

**Keywords:** watercraft, emergency response, the rate of effectiveness of the target task.

УДК 539.388.1:678

Доц. О.О. Ларін, канд. техн. наук –  
НТУ "Харківський політехнічний інститут"

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЙМОВІРНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВІДМОВ УТОМИ В ГУМОВИХ МАТЕРІАЛАХ У ЗВИЧАЙНОМУ СТАНІ ТА ПІСЛЯ СТАРІННЯ**

Представлено аналіз ймовірнісних характеристик відмов втоми в гумових матеріалах під час їх циклічного навантаження. Дослідження проведено на основі концепції континуальної механіки пошкоджуваності. Кінетику росту пошкоджуваності визначено за характеристиками кривих втоми, які побудовано відносно еквівалентних напружень, що відповідають приведенню складного напружено-деформованого стану до еквівалентного простого на помірних деформаціях гумових матеріалів. Дослідження здійснено для матеріалу, що застосовується в якості матриці каркасу пневматичних шин. Проведено порівняльний аналіз зміни ймовірності відмови внаслідок втоми для матеріалу до та після старіння.

**Ключові слова:** втома, пошкоджуваність, гумові матеріали, старіння.

**Вступ.** У сучасних машинобудівних конструкціях широко застосовують елементи, що виготовлені з гумових матеріалів, які під час експлуатації зазнають істотного зовнішнього динамічного впливу. Змінна деформація з часом призводить до нагромадження втоми у матеріалі і як наслідок – до втрати несної здатності відповідних конструктивних елементів. Отже, актуальним питанням є створення моделей оцінки надійності для гумових матеріалів і визначення характеристик цих моделей.

Основною характеристикою опору втомі є експериментальна крива Велера, яка визначає залежність між амплітудами параметра напружено-деформованого стану (НДС) та кількістю циклів деформації, що витримає зразок до появи тріщини заданого розміру (або до руйнування). При цьому виникає проблема використання отриманих лабораторних залежностей, які отримані в умовах, як правило, простого НДС для оцінки втомної довговічності реальних елементів машинобудівних конструкцій, які під час експлуатації мають складний динамічний НДС. Для вирішення цієї проблеми використовують методи схематизації процесів і вводять еквівалентні характеристики НДС.

У цій роботі пропонуємо застосувати критерії приведення складного НДС до еквівалентних напружень, наведених у роботах [1-3] разом із ймовірнісною моделлю, що представлена в роботі [3], та дає змогу враховувати існуючий розкид вихідних експериментальних даних. Окремо варто зазначити, що під час аналізу характеристик довговічності гумових матеріалів потрібно враховувати можливість прояву ефекту природного старіння [4-7]. Відомо, що гумоподібні мате-

ріалі здатні істотно змінювати свої фізико-хімічні властивості з часом. Причому такі характеристики, як статична міцність можуть змінюватись у кілька разів за номінальний термін експлуатації конструкції для гумових елементів навіть, які не знаходяться в роботі (наприклад, під час зберігання) [8, 9]. У роботі [10] досліджено закономірності зміни характеристик опору втомі різних гумових матеріалів, що відбувається внаслідок старіння. Отримані результати свідчать про істотний вплив процесів старіння на характеристики міцності матеріалу.

У цій роботі використано ймовірнісну модель накопичення втомної пошкоджуваності, що заснована на континуальній механіці пошкоджуваності та враховує випадкову варіацію параметрів кривої втоми та була запропонована в роботі [3]. Цю модель було використано разом із отриманими автором раніше результатами натурних випробувань для гумової суміші каркасу сучасних пневматичних шин, які було отримано до та після старіння цього матеріалу.

**Постановка задачі та її вирішення.** Першим етапом цієї роботи є визначення параметрів кривої Велера після їх зміни у часі внаслідок старіння. Загальне уявлення про цей процес було отримано в роботі [10], проте для ймовірнісної оцінки процесу накопичення пошкоджуваності втомі потрібно відстежити закономірності зміни через старіння кривої Велера, яку побудовано для еквівалентних напружень, що задаються таким співвідношенням [3]:

$$S_{eq} = \sum_{i=1}^3 \frac{(2C_{0i}J^{2/3}[I_1 - 3\lambda_i^2] + 2C_{10}[3J^2\lambda_i^{-2} - I_2] - 3kJ^{7/3}[J - 1])^2}{(8C_{0i}J^{2/3}[2I_1 - 3\lambda_i^2] + 8C_{10}[6J^2\lambda_i^{-2} - I_2] + 9kJ^{7/3}) \cdot J^{4/3}}, \quad (1)$$

де:  $C_{01}$ ,  $C_{10}$  та  $k$  – константи матеріалу відповідно до моделі Муні-Рівліна;  $\bar{I}_1$  та  $\bar{I}_2$  – приведені перший та другий інваріанти тензору деформацій Гріна, а  $J$  – визначник цього тензору.

Використання експериментальних даних [10] для гумових зразків матриці каркасу пневматичних шин разом із формулою (1) дає змогу побудувати криві втоми для еквівалентних напружень для означених матеріалів до та після їх штучного старіння (6 діб у термокамері за температури 80 °C). На рис. 1 представлено отримані криві, де верхні криві та сині точки відповідають даним, отриманим для зразків до старіння, а нижні криві та червоні точки відповідно – кривим утоми після штучного старіння.

Апроксимації проведено так, що параметрами кривої Велера, що підлягають визначенню, вважали показник нахилу цієї кривої  $m$  та кількість циклів  $N_0$  до руйнування зразку з амплітудою деформації 50 %.

Порівняння кривих утоми для гумової суміші каркасу пневматичних шин до та після штучного старіння показує, що показник нахилу кривої втоми не зазнає вираженої зміни і може вважатись сталим. Крім цього, спостерігається зменшення кількості циклів до відмови.

Отримані параметри апроксимації надають можливість визначити коефіцієнти кінетичного рівняння накопичення пошкоджуваності для гумових зразків матриці каркасу (брекеру) у пневматичних шинах після старіння. На рис. 2 наведено закономірності накопичення пошкоджуваності втомі для гумових зразків каркасу (брекеру) пневматичних шин до та після старіння за їх цик-

лічного деформування з амплітудами деформацій 50 %, а також відповідні їм щільності ймовірності відмови, як функції кількості циклів до відмови.

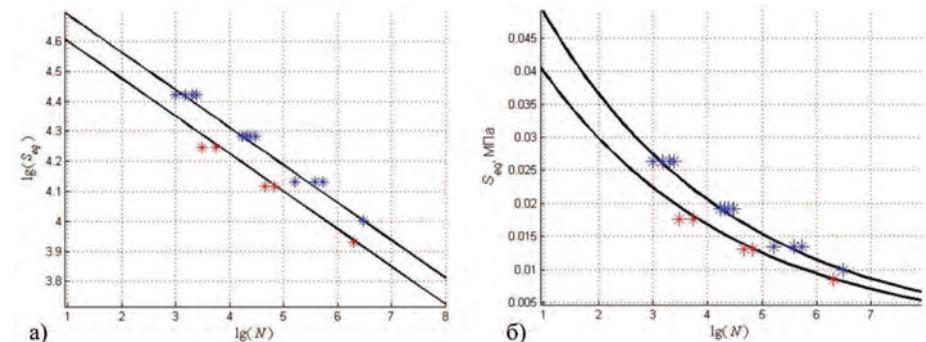


Рис. 1. Криві утоми гумової суміші матриці каркасу (верхні криві та сині точки) та після штучного старіння (6 діб у термокамері за температури 80 °C)

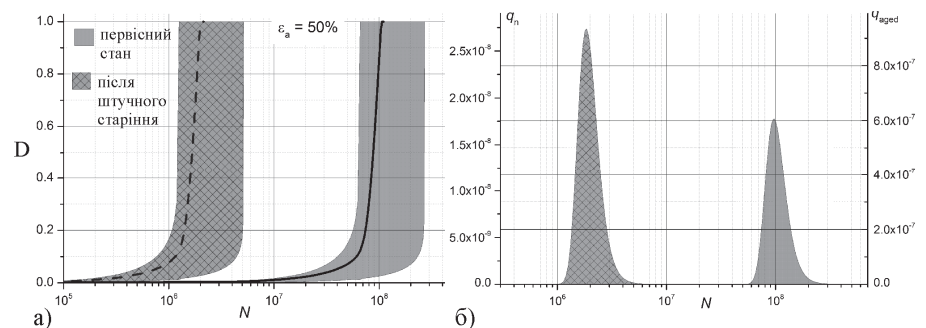


Рис. 2. Довірчий інтервал для процесу накопичення пошкоджуваності (а) та щільність ймовірності відмови (б) гумових зразків матриці каркасу пневматичних шин за циклічного деформування з амплітудами деформації 50 %

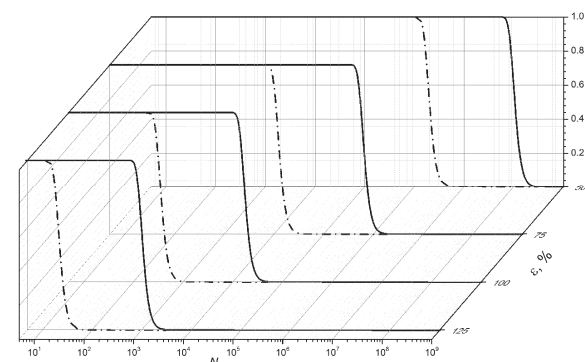


Рис. 3. Ймовірність безвідмовної роботи гумових зразків матриці каркасу пневматичних шин за циклічного деформування з амплітудами деформації 50 %, 75 % 100 % та 125 %. Порівняння для зразків у первісному стані (суцільні криві) та після штучного старіння (пунктирні криві)

На рис. 3 також зведено функції надійності (ймовірність безвідмовної роботи) гумових зразків матриці каркасу (брекеру) пневматичних шин за циклічного деформування з різними амплітудами деформацій.

**Висновки.** Загальний аналіз представлених результатів свідчить, що у гумових зразків каркасу (брекеру) пневматичних шин базове кількість циклів до відмови на фіксованому рівні амплітуд деформацій 50 % зменшилось у 55 разів, а за фіксованих критичних значень еквівалентних напружень – майже у 6 разів.

### Література

1. Ayoub G. Multiaxial fatigue life prediction of rubber-like materials using the continuum damage mechanics approach / G. Ayoub, M. Naït-Abdelaziz, F. Zaïri, J. M. Gloaguen // *Procedia Engineering*. – 2010. – Vol. 2, No. 1. – Pp. 985-993.
2. Ayoub G. A continuum damage model for the high-cycle fatigue life prediction of styrene-butadiene rubber under multiaxial loading / G. Ayoub, M. Naït-Abdelaziz, F. Zaïri et al. // *International Journal of Solids and Structures*. – 2011. – Vol. 48, No. 18. – Pp. 2458-2466.
3. Ларін О.О. Імовірнісна модель накопичення пошкоджуваності втомі в гумоподібних матеріалах / О.О. Ларін // *Проблеми міцності : зб. наук. праць. – К. : Вид-во Ін-ту проблем міцності ім. Г.С. Писаренко НАН України. – 2015. – № 6. – С. 84-94.*
4. Юрченко А.Н. Автомобильные шины (требования, эксплуатация, износ) / А.Н. Юрченко. – Харьков : Изд-во ДП ХМЗ "ФЭД", 2003. – 115 с.
5. Clark S.K. *Mechanics of Pneumatic Tires*, US Department of Transportation / S.K. Clark // *Dot HS 805952*, Washington, DC, 2006. – Pp. 123-129.
6. Ларин А.А. Исследование закономерностей деформирования пневматических шин в контакте с дорогой у учетом наличия эксплуатационной деградации материала / Ю.В. Арефин, А.А. Ларин // *Механіка та машинобудування : нав.-техн. журнал. – Харків : Вид-во НТУ "ХП", 2011. – № 2. – С. 52-57.*
7. Овчаров В.И. Свойства резиновых смесей и резин: оценка регулирование, стабилизация / В.И. Овчаров, М.В. Бурмистр, А.Г. Смирнов, В.А. Тютин, В.В. Вербас, А.П. Науменко. – М. : Изд-во "САНТ – ТМ", 2001. – 400 с.
8. Baldwin J.M. Rubber aging in tires. part 1: field results / J.M. Baldwin, D.R. Bauer, K.R. Ellwood // *Polymer Degradation and Stability*. – 2007. – Vol. 92, No. 1. – Pp. 103-109.
9. Bauer D.R. Rubber aging in tires. part 2: accelerated oven aging tests / D.R. Bauer, J.M. Baldwin, K.R. Ellwood // *Polymer Degradation and Stability*. – 2007. – Vol. 92, No. 1. – Pp. 110-117.
10. Ларін О.О. Дослідження характеристик опору втомі гумових сумішей, що входять до складу елементів пневматичних шин після штучного старіння матеріалу / О.О. Ларін // *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". – Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях. – К. : Вид-во НТУУ "КПІ". – 2015. – № 46. – С. 45-50.*

### **Ларин О.О. Исследование изменений вероятностных характеристик отказов усталости резиновых материалов в первоначальном состоянии и после старения**

Представлен анализ вероятностных характеристик отказов усталости в резиновых материалах при их циклической нагрузке. Исследования проведены на основе концепции континуальной механики повреждаемости. Кинетика роста повреждаемости определена по характеристикам кривых усталости, которые построены относительно эквивалентных напряжений, которые соответствуют приведению сложного напряженно-деформированного состояния к эквивалентному простому на умеренных деформациях резиновых материалов. Исследование проведено для материала, применяемого в качестве матрицы каркаса пневматических шин. Проведен сравнительный анализ изменения вероятности отказа вследствие усталости для материала до и после старения.

**Ключевые слова:** усталость, повреждаемость, резиновые материалы, старение.

### **Larin O.O. The Investigation of the Change of Probability Characteristics of the Fatigue Failures of Rubber before and after Aging**

The analysis of the probability characteristics of fatigue failure in the rubber materials under cyclic loading is presented. A research has been carried out based on the continuum damage mechanics. Kinetics of damage is determined by the characteristics of fatigue curves. The fatigue S-N curves are built relative to equivalent stress that represents the complex stress strain state to an equivalent simple state subjected to the possibility of appearance of finite strains. The study has been carried out for a material that is used as a matrix of pneumatic tire carcass. A comparative analysis of changes in the probability of failure due to fatigue of the rubber material before and after aging has been done.

**Keywords:** fatigue, continuum damage, rubber materials, aging.

**УДК 681.3.05:004.056.5 Проф. Ю.І. Грицюк, д-р техн. наук – НУ "Львівська політехніка"; здобувач П.Ю. Грицюк, магістр – НЛТУ України, м. Львів**

### **МАТЕМАТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ ГЕНЕРУВАННЯ КЛЮЧІВ ПЕРЕСТАВЛЯННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ШИФРУ КАРДАНО**

Розглядаються особливості розроблення надійного алгоритму для генерування ключів переставляння, робота якого базується на класичному шифрі Кардано "квадратні ґратки" у його сучасному математичному формулюванні, що загалом дає змогу генерувати послідовності випадкових чисел у заданому діапазоні без повторення.

Встановлено, що алгоритм "квадратні ґратки", будучи алгоритмом маршрутного переставляння, в якому правило розміщення символів у блоці задається квадратним трафаретом, можна використовувати не тільки для шифрування блоку вхідного повідомлення, але й для генерування відповідної множини ключів переставляння. З використанням основних положень матричної алгебри розроблено математичне формулювання алгоритму "квадратні ґратки" для генерування ключів переставляння, а також математичне формулювання алгоритму переставляння рядків матриці вхідного повідомлення, кількість стовпців якої може бути довільною.

**Ключові слова:** захист інформації, шифр Кардано, шифрувальні трафарети, перестановні алгоритми, алгоритми маршрутного переставляння, алгоритм "прямокутні та квадратні ґратки", генерування ключів переставляння, криптоаналіз.

**Вступ.** В роботі [6] зазначено, що у сучасних складних алгоритмах шифрування/дешифрування інформації широко використовуються алгоритми маршрутного переставляння. Сутність таких алгоритмів полягає в тому, що в клітині прямокутної таблиці символи вхідного повідомлення вписують за одним маршрутом, а потім ці символи зчитують з таблиці за іншим маршрутом.

Прикладом простого переставляння є запис блоку початкових даних у прямокутну таблицю рядками, а зчитування – стовпцями чи навпаки. Послідовність заповнення рядків таблиці та зчитування зашифрованих даних стовпцями називають ключем переставляння. Відомими алгоритмами переставляння [4] є: магічні квадрати та шахові дошки; класичні та табличні шифри переставляння; маршрутне переставляння з використанням трафаретів; маршрутне переставляння з використання складних геометричних фігур, наприклад, фігур Гамільтона. У кожному із цих алгоритмів ключі переставляння утворюються за рахунок різниці шляхів запису символів початкових даних і шляхів зчитування цих символів у межах деякої геометричної фігури [8]. Часто ці символи мають свою числову нумерацію, тому, як наслідок, отримані в такі способи послідовності чисел часто мають випадковий характер.