

ISSN 2409-7470

Видання засновано у 2003 р.

Засновник і видавець –
Національна академія
Національної гвардії України

Головний редактор – Олександр
Олександрович Морозов, доктор
технічних наук, професор

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого ЗМІ КВ № 21024-10824 ПР
від 22.09.2014 р.

Збірник внесено до Переліку
наукових фахових видань України
у галузі “Технічні науки”
(наказ Міністерства освіти і науки
України від 16.05.2016 № 515).

Виходить двічі на рік

Адреса редакції:
Національна академія Національної
гвардії України,
майдан Захисників України, 3,
м. Харків, 61001

Тел./факс: (057) 732-75-12;
тел.: (057) 739-26-68.
E-mail: nov_nangu@ukr.net

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ
ПРАЦЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ
НАЦІОНАЛЬНОЇ
ГВАРДІЇ УКРАЇНИ**

Випуск 2 (34)

2019

Озброєння та військова техніка

Актуальні питання розроблення,
удосконалення, модернізації озброєння,
військової та спеціальної техніки

Проблеми експлуатації, відновлення,
випробувань, контролю характеристик
озброєння, військової та спеціальної
техніки

Забезпечення військ (сил)

Проблеми технічного, тилового
(логістичного), інформаційно-аналітичного
забезпечення службово-бойової діяльності

Сучасні інформаційні технології
та телекомунікації у військовій справі

Прикладні аспекти природничих
і загальноінженерних наук
у військовій справі

**Харків
2019**

*Рекомендовано до друку та розміщення у мережі Інтернет вченою радою
Національної академії Національної гвардії України
(протокол № 13 від 19.12.2019 р.)*

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Олександр Олександрович Морозов – доктор технічних наук, професор, Національна академія Національної гвардії України (головний редактор);

Олександр Іванович Біленко – доктор технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України;

Олександр Михайлович Крюков – доктор технічних наук, професор, Національна академія Національної гвардії України;

Руслан Олегович Кайдалов – доктор технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України;

Михайло Абович Подригало – доктор технічних наук, професор, Національна академія Національної гвардії України;

Ігор Костянтинівич Шаша – доктор технічних наук, професор, Національна академія Національної гвардії України;

Максим Юрійович Яковлев – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Національна академія Національної гвардії України;

Олександр Геннадійович Бондаренко – кандидат наук з державного управління, доцент, Національна академія Національної гвардії України;

Григорій Андрійович Дробаха – доктор військових наук, професор, Національна академія Національної гвардії України;

Олександр Ілліч Фик – доктор технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України;

Анатолій Михайлович Толкачов – доктор фізико-математичних наук, професор, Національна академія Національної гвардії України;

Валентин Андрійович Сало – доктор технічних наук, професор, Національна академія Національної гвардії України;

Олег Сергієнко – доктор, професор, Автономний університет Нижньої Каліфорнії, Мексіка;

Венді Флорес-Фуентес – доктор, професор, Автономний університет Нижньої Каліфорнії, Мексіка;

Станіслав Анатолійович Горелишев – кандидат технічних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України;

Володимир Давидович Душкін – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України;

Олександр Петрович Шамиш – кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національна академія Національної гвардії України;

Юлія Іванівна Медвідь – Національна академія Національної гвардії України (відповідальний секретар).

Збірник містить матеріали з актуальних питань розроблення, модернізації та експлуатації спеціальної техніки, озброєння, технічних засобів, комплексів та систем сил охорони правопорядку, інших військових формувань та правоохоронних органів, а також науково-дослідні матеріали.

Для фахівців Національної гвардії України, правоохоронних органів, інших військових формувань, науковців, викладачів, ад'юнктів, курсантів та студентів закладів вищої освіти України.

Інформаційний сайт збірника: <http://znp.nangu.edu.ua>.

Видання індексується наукометричною базою даних Index Copernicus (Польща) та бібліометричною платформою Google Scholar. Включено до каталогу Національної бібліотеки України імені В. І. Вернадського.

З М І С Т

C O N T E N T S

Озброєння та військова техніка*Актуальні питання розроблення, удосконалення, модернізації озброєння, військової та спеціальної техніки***Weapons and military technical equipment***Topical issues of development, improvement, modernization of weapons, military and special equipment***Ковтун А. В., Кужелович В. І., Лукашенко С. С.****Kovtun A., Kuzelovich V., Lukashenko S.**

Оцінювання зміни надійності автобронетанкової техніки військової частини під час експлуатації..... 5

Estimation of changing the reliability of automotive mechanics of the military part of operation 5

Літовченко П. І., Сало В. А., Нечипоренко В. М, Раківненко В. П.**Litovchenko P., Salo V., Nechiporenko V., Rakivnenko V.**

Математична модель формоутворення лопаток робочих коліс газотурбінних двигунів..... 14

Mathematical model of forming of impeller blades of GTE..... 14

Подригало М. А., Кайдалов Р. О., Кудімов С. А.**Podrigalo M., Kaydalov R., Kudimov S.**

Вплив аеродинамічних показників на раціональну динамічну характеристику автомобіля..... 23

The influence of aerodynamic indicators on the rational dynamic characteristics of the vehicle..... 23

Подригало М. А., Тарасов Ю. В.**Podrigalo M., Tarasov Yu.**

Прогнозування динамічних властивостей автотранспортних засобів..... 29

Forecasting of dynamic properties of vehicles 29

*Проблеми експлуатації, відновлення, випробувань, контролю характеристик озброєння, військової та спеціальної техніки**Problems of operation, renewal, testing, control of the characteristics of weapons, military and special equipment***Шабалін О. Ю., Кириченко О. М., Раківненко В. П., Сало В. А., Гребеник Л. А.****Shabalin O., Kirichenko O., Rakivnenko V., Salo V., Grebenik L.**

Дослідження динамічної міцності цистерни з рідиною при нерівномірному русі автозаправника 36

Investigation of the dynamic strength of a tank with fluid under non-uniform motion of a refueler 36

Тітаренко О. В., Шаповалов О. І., Зубкова Н. В., Новак С. О.**Titarenko O., Shapovalov O., Zubkova N. Novak S.**

Дослідження впливу технологічних умов фрезерування на якість полімерних матеріалів для чутливих елементів радіаційного контролю 44

Study of the effect of technological milling conditions on the quality of polymeric materials for sensitive elements of radiation control..... 44

З М І С Т

*Забезпечення військ (сил)
Сучасні інформаційні технології
та телекомунікації у військовій справі*

Іванець Г. В., Горєлишев С. А., Іванець М. Г.

Статистичний метод оцінювання загроз територіям та населенню адміністративно-територіальних одиниць держави 51

Іохов О. Ю., Малюк В. Г., Сидоренко І. І.

Визначення шляхів підвищення імітостійкості сигналів попередження систем охорони НГУ на атомних електростанціях..... 58

Наші автори..... 66

C O N T E N T S

*Troop (armed forces) support
Modern information technology
and telecommunications in military affairs*

Ivanets H., Horielyshev S., Ivanets M.

Statistical method for assessing the level of threats and populations of administrative territorial units of the state 51

Iohov O., Maliuk V., Sydorenko I.

Determination of ways of spoofing resistance improvement of warning systems of NGU security systems at nuclear power plants 58

Our authors..... 66



А. В. Ковтун



В. І. Кужелович



С. С. Лукашенко

ОЦІНЮВАННЯ ЗМІНИ НАДІЙНОСТІ АВТОБРОНЕТАНКОВОЇ ТЕХНІКИ ВІЙСЬКОВОЇ ЧАСТИНИ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті вирішується задача оцінювання існуючого і забезпечення заданого рівня надійності автобронетанкової техніки шляхом дослідження процесу зміни ймовірності безвідмовної роботи автомобілів та бойових машин і визначення напрямків підтримання заданого рівня їх технічної готовності.

Показано, що основним методом отримання вихідної інформації про відмови автомобілів (бойових машин) та їх елементів є випробування в умовах експлуатації з використанням системи збирання та оброблення інформації про надійність.

Запропонована залежність, яка дозволяє оцінити рівень надійності автомобілів військової частини як складової готовності автобронетанкової техніки до виконання завдань.

К л ю ч о в і с л о в а: технічна готовність, озброєння та військова техніка, автобронетанкова техніка, надійність, безвідмовність, показники, ймовірність безвідмовної роботи.

Постановка проблеми. Бойові дії, що тривають на сході держави, показують зростання бойової спроможності Збройних Сил, інших військових формувань, їх можливості виконувати свої завдання із захисту України. Однак велика кількість виробів озброєння та військової техніки, що були у Збройних Силах України на початку 2014 року, або повністю витратили свій ресурс, або близько підійшли до граничних показників його витрати. Це пов'язано з невиконанням основних засад військово-технічної політики з оновлення парку автобронетанкової техніки, організації її експлуатації та планового ремонту. Наслідком цього є невідповідність реальних показників оцінки рівня безвідмовності автобронетанкової техніки показникам, що очікувалися на рівні 88 % [1].

Фактичний рівень безвідмовності автобронетанкової техніки виявився нижчим на 38–42 %. Близько половини наявних автомобілів та бойових машин потребували технічного обслуговування та поточного ремонту [1].

Основними причинами цього є такі фактори [1, 2]:

- низькі показники безвідмовності та ремонтнопридатності автомобілів (бойових машин);
- до експлуатації автобронетанкової техніки допускали не підготовлені розрахунки;
- не виконувалися основні вимоги з експлуатації автобронетанкової техніки, встановлені нормативними документами.

Технічна готовність озброєння та військової техніки Національної гвардії України, в тому числі автобронетанкової техніки (АБТ), характеризується відповідними значеннями показників її експлуатаційної надійності. Одним із таких показників є ймовірність безвідмовної роботи. Але в процесі експлуатації автомобілів та бойових машин вона не є сталою, а під впливом внутрішніх і зовнішніх факторів з часом (пробігом, напрацюванням) зменшується, що призводить до погіршення технічних характеристик АБТ [3].

У зв'язку з різким ускладненням автобронетанкової техніки необхідне ретельне наукове обґрунтування військово-технічних рішень під час розроблення, випробувань, виробництва й експлуатації автомобілів та бойових машин. Також необхідно оцінити сучасний рівень надійності АБТ та спрогнозувати необхідний рівень її надійності у випадку заміни [4].

Вирішити задачу оцінювання існуючого і забезпечення заданого рівня надійності автомобілів і бойових машин можна шляхом дослідження процесу зміни ймовірності безвідмовної роботи

автомобілів та бойових машин і визначення напрямків підтримання заданого рівня їх технічної готовності. Однак діючі показники технічної готовності АБТ не дають можливості порівняти рівень надійності існуючих і перспективних машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковою базою дослідження рівня надійності існуючих та перспективних автомобілів (бойових машин) і рівня їх технічної готовності до перевезень є: теорія технічної експлуатації АБТ, теорія ефективності їх бойового застосування, теорія надійності АБТ, теорія ймовірностей. Теоретичні залежності, що використовуються у визначенні рівня надійності машин, наведені у публікаціях [3, 4]. Вирази для визначення показників боєготовності сучасних автомобілів і бойових машин наведені у статтях [5–7]. У праці [8] розроблені аналітичні залежності коефіцієнтів справності та боєготовності зразків АБТ від характеристик системи автотехнічного (бронетанкового) забезпечення.

Проте у відомих працях не наведені дослідження процесу зміни ймовірності безвідмовної роботи автомобілів та бойових машин і визначення шляхів підтримання заданого рівня їх технічної готовності.

Мета статті – отримати залежність для оцінювання зміни ймовірності безвідмовної роботи автомобілів та бойових машин при виконанні завдань та визначити шляхи підтримання заданого рівня їх технічної готовності.

Виклад основного матеріалу. Однією з аксіом теорії надійності технічних систем є можливість появи у машин відмов у процесі експлуатації. Відмова є випадковою подією, пов'язаною з порушенням працездатного стану машини. Можна вважати, що для фахівців, які експлуатують автомобілі, важливо знати, за якими ознаками класифікують відмови, як і коли вони з'являються, які вони бувають, до яких призводять наслідків і т. ін.

Автомобілі та бойові машини є складними багатовузловими технічними системами. Тому під час їх експлуатації виникають різні відмови. Наявність даних про відмови АБТ дозволяє визначити їх причини, розробити конкретні заходи з їх усунення, визначити терміни проведення профілактичних робіт, запропонувати методики моделювання надійності.

У зв'язку зі складністю процесів, які відбуваються в автомобілях і призводять до відмов елементів автомобілів, їх дуже важко імітувати в штучних умовах з високою достовірністю та в необхідних обсягах. Тому основним методом отримання вихідної інформації про відмови автомобілів та їх елементів є випробування в умовах експлуатації з використанням системи збирання й оброблення інформації про надійність [8].

Інформація повинна бути повною (повні відомості про об'єкт випробувань та умови випробувань), достовірною (мати об'єктивні, документальні, кваліфіковані дані), дискретною (мати повідомлення з окремих ознак), своєчасною, неперервною (неперервно оновлюватись разом з удосконаленням конструкції).

У результаті збирання інформації повинні бути отримані такі дані:

- найменування і марка машини;
- завод-виготовлювач;
- кліматична зона експлуатації;
- найменування і адреса військової частини;
- напрацювання за рік;
- загальне напрацювання машини;
- найменування деталей (вузлів), які відмовили під час роботи;
- час виникнення відмови і час на відновлення машини;
- зовнішній прояв відмови;
- причина відмови.

Спостереження за контрольною партією з 13 автомобілів УАЗ-31512, які протягом 7 років перевозили людей з метою несення служби в межах міста, показало, що дані автомобілі експлуатувались у легких умовах [7]. Всі агрегати замінялися на цих автомобілях частіше або рідше внаслідок їхньої не однакової надійності. Кожен автомобіль розглядався як технічна система, що складається з чотирьох окремих складових: двигуна, трансмісії, ходової частини та електрообладнання. В табл.1 показано сумарний пробіг у кілометрах кожної складової автомобіля до кожної відмови протягом 7 років.

Дані про відмови агрегатів УАЗ-31512

№ авто- біля в партії	Середній термін спосте- реження, р.	Рік випуску	Пробіг автомобіля з початку експлуатації до відмови, км			
			Двигун	Трансмісія	Електро- обладнання	Ходова частина
1	5	1995	6200	170; 527; 1085; 1597	419	1287
2		1996	8	558; 574	829	7091
3		1994	4340	736; 1589	7091	4340
4		1998	8680	1628	1628	504; 1442
5		1997	232	116	1666	1628
6		1999	364	791	1147	116
7		1997	1294	155	6200	3565
8		1997	8680	388	62	1085; 1333; 3798
9		1996	341	930	39	1341
10		1995	372	3991	1031	15500
11		1998	4410	1945; 10052	2093; 7068	767
12		1994	1341; 2224	5425	1806; 8060	961; 2441
13		1996	736; 2209	1705	62; 93; 233	62

Оброблення результатів спостережень здійснимо за методикою, що наведена у праці [4].
Пробіг до відмов для тринадцяти автомобілів k та кількості агрегатів i за сім років складає:

$$\sum_{k=1}^{13} \sum_{i=1}^{52} L_{\Sigma k,i} = 284\,000 \text{ км.}$$

Визначаємо статистичний ряд відмов складових автомобіля залежно від пробігу. Для цього весь діапазон пробігу між відмовами ділимо на інтервали

$$\Delta L = L_i - L_{i-1}. \quad (1)$$

За статистичними даними підраховуємо кількість відмов Δn_i , які припадають на кожний розряд $\Delta L_{\Sigma i}$ і визначаємо частоту відмов N^*_i кожного розряду:

$$N^*_i = \frac{\Delta n_i}{\sum_{k=1}^n n_k}, \quad (2)$$

де Δn_i – кількість відмов на інтервалі $\Delta L_{\Sigma i}$; $\sum_{k=1}^n n_k = \sum_{k=1}^{52} n_k = 70$ – сумарна кількість відмов.

Статистичний ряд відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу наведений у табл. 2.

Статистичний ряд відмов складових частин автомобіля залежно від сумарного пробігу

Характеристика	Результати розрахунків								
	0–800	800–1600	1600–3200	3200–4800	4800–6400	6400–8000	8000–9600	9600–12800	12800–16000
$L_{\Sigma i-1}; L_{\Sigma i}, \text{ км}$	0–800	800–1600	1600–3200	3200–4800	4800–6400	6400–8000	8000–9600	9600–12800	12800–16000
$\Delta L_{\Sigma i} = L_{\Sigma i} - L_{\Sigma i-1}, \text{ км}$	800	775	1600	1600	1600	1600	1600	3200	3200
Δn_i	26	14	14	6	3	3	23	1	1
N^*_i	0,37	0,2	0,2	0,86	0,043	0,043	0,029	0,014	0,014
$f^*_i \times 10^3$	3,7	2,0	1,0	0,4	0,22	0,22	0,14	0,04	0,04

Подамо отриманий статистичний ряд відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу у вигляді гістограми, що наведена на рис. 1. Для цього на осі абсцис позначимо інтервали пробігу автомобіля, на яких побудуємо прямокутники, їх площі дорівнюватимуть частоті N^*_i цього інтервалу, а висота – величині f^*_i .

$$f^*_i = \frac{\Delta n_i}{\Delta L_{\Sigma i} \sum_{k=1}^n n_k} \quad (3)$$

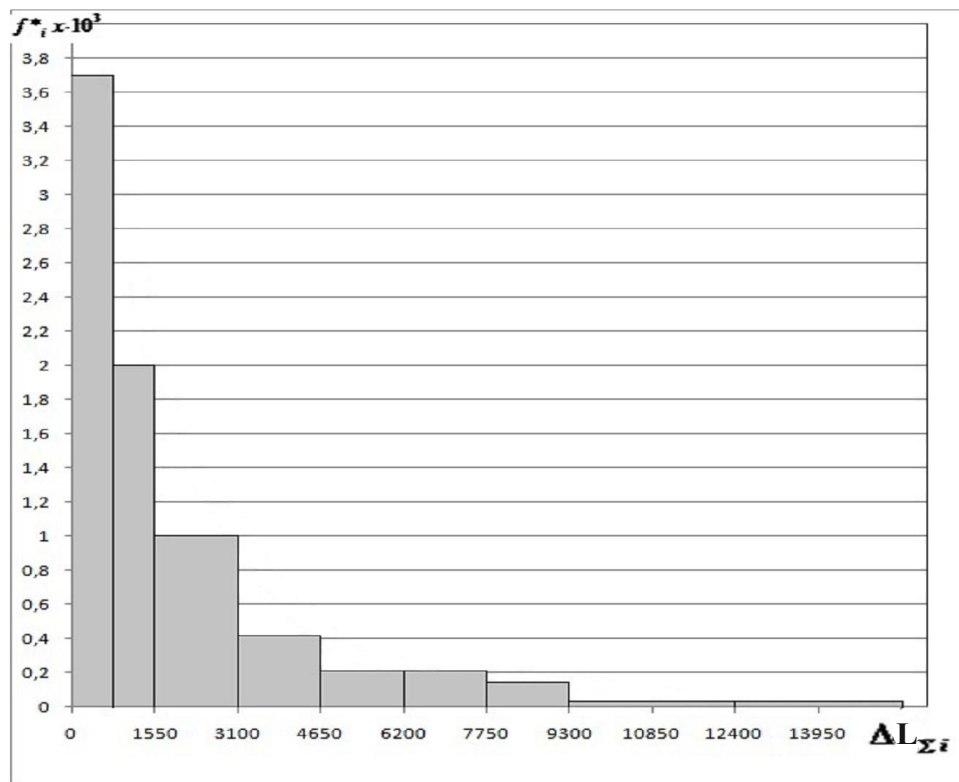


Рис. 1. Гістограма щільності розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу

Зі збільшенням кількості інтервалів графік щільності розподілу відмов складових частин автомобіля залежно від пробігу буде наближатися до теоретичної функції $f(L_{\Sigma})$.

Вид статистичної щільності розподілу відмов складових частин автомобіля залежно від пробігу дає можливість встановити, що як теоретичну функцію можна використати експоненціальний закон розподілу зі щільністю

$$f(L_{\Sigma}) = \lambda_{\text{сеп}} \exp(-\lambda_{\text{сеп}} L), \quad (4)$$

де $\lambda_{\text{сеп}}$ – середнє значення інтенсивності відмов агрегата, 1/км.

За допомогою теоретичної функції щільності розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу $f(L_{\Sigma})$ проведемо згладжування статистичного ряду (табл. 3).

Т а б л и ц я 3

Статистичний ряд відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу

Характеристика	Результати обчислень										
	$L_{\Sigma 0i}$, км	0	400	800	1600	3200	4800	6400	8000	9600	12800
$f(L_{\Sigma 0i})$	3,6	3,0	2,52	1,75	0,85	0,41	0,2	0,1	0,05	0,03	0,01

Припустимо, що інтенсивність відмови теоретичного розподілу $\lambda_{\text{сеп}}$ дорівнює середньому значенню інтенсивності відмов $\lambda_{\text{сеп}}^*$.

$$\lambda_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{k=1}^n n_k}{\sum_{k=1}^n \cdot \sum_{i=1}^{n_k} L_{\Sigma k,i}} = \frac{\sum_{k=1}^{52} n_k}{\sum_{k=1}^{52} \cdot \sum_{i=1}^{70} L_{\Sigma k,i}} = \frac{70}{150366} = 0,00047 \text{ 1/км}. \quad (5)$$

Будуємо теоретичну функцію розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу (рис. 2).

$$f(L_{\Sigma}) = \lambda_{\text{сеп}} \cdot e^{-\lambda_{\text{сеп}} L_{\Sigma}} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-3,6 \cdot 10^{-3} L_{\Sigma}} \quad (6)$$

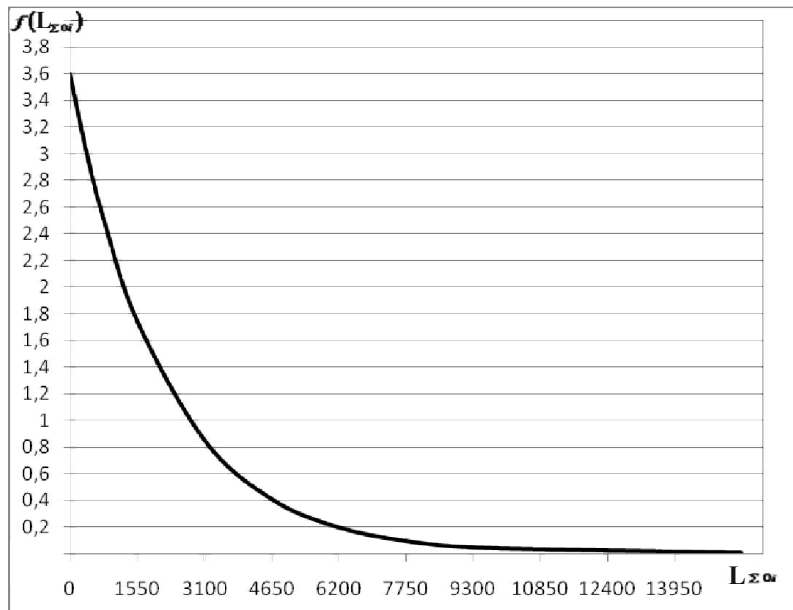


Рис. 2. Графік щільності розподілу відмов підсистем автомобіля залежно від сумарного пробігу

На рисунку видно, що теоретична крива $f(L_{\Sigma})$ добре узгоджується з даними випробувань. Однак необхідна перевірка узгодженості за допомогою критерію академіка Колмогорова.

Для цього визначимо статистичну функцію розподілу $F^*(L_{\Sigma})$ часу безвідмовної роботи підсистеми та теоретичну функцію розподілу $F(L_{\Sigma})$.

$$F^*(L_{\Sigma 0}) = 0;$$

$$F^*(L_{\Sigma 1}) = N^*_1 = 0,57;$$

$$F^*(L_{\Sigma 2}) = N^*_1 + N^*_2 = 0,57 + 0,2 = 0,77;$$

$$F^*(h) = 0,57 + 0,2 + 0,086 + 0,043 + 0,043 + 0,029 + 0,029 = 1 = \sum_{i=1}^h L^*_i.$$

Теоретична функція розподілу

$$F(L_{\Sigma}) = 1 - e^{-\lambda_{\text{сер}} L_{\Sigma 0 i}}. \tag{7}$$

Результати розрахунків функцій $F^*(L_{\Sigma})$ та $F(L_{\Sigma})$ наведені в табл. 4.

Т а б л и ц я 4

Результати розрахунків функцій $F^(L_{\Sigma})$ та $F(L_{\Sigma})$*

Характеристика	Результати розрахунків										
	$L_{\Sigma 0 i}$, км	1600	3200	4800	6400	8000	9600	11200	12800	14400	16000
$F^*(L_{\Sigma i})$	0,6	0,8	0,86	0,9	0,94	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	1,000
$F(L_{\Sigma i})$	0,5	0,763	0,88	0,94	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99

Максимальне значення модуля різниці між статистичною і теоретичною функцією розподілу

$$D = \max |F^*(L_{\Sigma}) - F(L_{\Sigma})| = 0,57 - 0,514 = 0,056. \tag{8}$$

$$\lambda_D = D\sqrt{n} = 0,056\sqrt{70} = 0,468. \tag{9}$$

Знаходимо ймовірність $P(\lambda_D) = 0,97$.

Результати розрахунків показують: гіпотеза про те, що функція щільності розподілу відмов складових частин автомобіля залежно від сумарного пробігу підкоряється експоненціальному закону, вірна.

Проведено аналіз залежності $P(L_{\Sigma})$ для різних значень загального напрацювання (рис. 3).

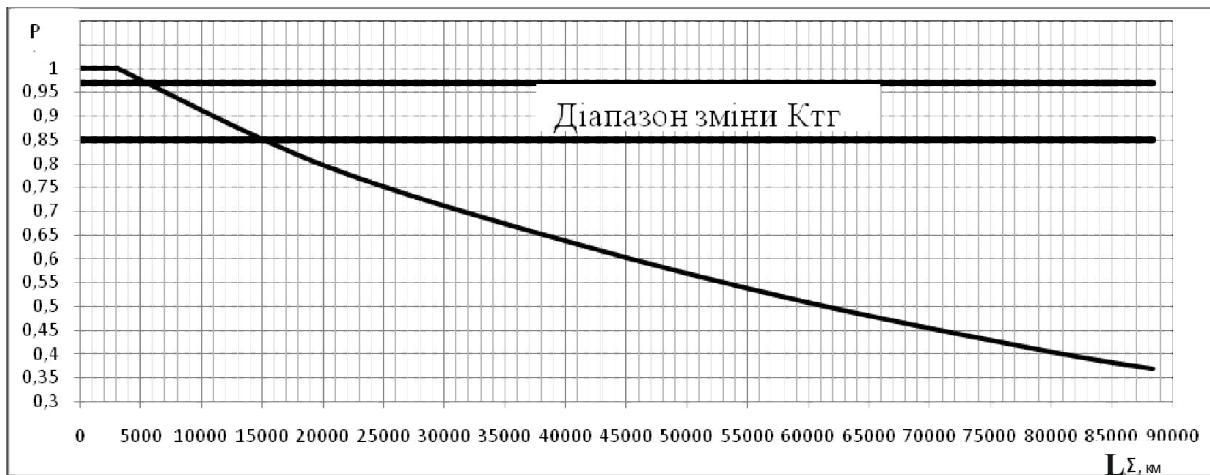


Рис. 3. Графік залежності $P(L_{\Sigma})$ для автомобіля УАЗ-31512 від початку експлуатації до капітального ремонту

З графіка на рис. 3 видно, що вже для пробігу 15 000 км імовірність безвідмовної роботи автомобіля УАЗ становить 0,85, а для пробігу, наприклад, 30 000 км вона складає 0,7. Це пояснюється не однаковою надійністю складових частин автомобіля. Якщо вважати, що автомобіль є технічною системою, яка складається, наприклад, з 4-х частин (двигун, трансмісія, електрообладнання, ходова частина), ймовірність його безвідмовної роботи $P_{\text{авт}}$ визначається як ймовірність безвідмовної роботи технічної системи з послідовним з'єднанням 4-х складових

$$P_{\text{авт}} = P_{\text{дв}} \cdot P_{\text{тр}} \cdot P_{\text{ел}} \cdot P_{\text{хч}},$$

де $P_{\text{дв}}$ – ймовірність безвідмовної роботи двигуна; $P_{\text{тр}}$ – ймовірність безвідмовної роботи трансмісії; $P_{\text{ел}}$ – ймовірність безвідмовної роботи електрообладнання; $P_{\text{хч}}$ – ймовірність безвідмовної роботи ходової частини.

Якщо ресурс двигуна автомобіля до капітального ремонту становить 150 тис. км; елементів трансмісії – 30 тис. км; електрообладнання – 60 тис. км; ходової частини – 70 тис. км, то для пробігу автомобіля 30 тис. км імовірність безвідмовної роботи автомобіля складає

$$P_{\text{авт}} = P_{\text{дв}} \cdot P_{\text{тр}} \cdot P_{\text{ел}} \cdot P_{\text{хч}} = 0,82 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 0,65 = 0,32.$$

Таким чином, за допомогою наведеної залежності можна визначити ймовірність безвідмовної роботи автомобіля (бойової машини) $P_{\text{авт}}$ та прогнозувати ймовірність безвідмовної роботи автомобілів військової частини на період виконання завдань.

Висновки

1. Отримана залежність, яка дозволяє оцінити рівень безвідмовної роботи автомобілів (бойових машин) військової частини як складової технічної готовності автобронетанкової техніки до виконання завдань. Не однакова надійність складових частин автомобілів (бойових машин) призводить до швидкого зниження ймовірності їх безвідмовної роботи (наприклад, для автомобіля УАЗ імовірність безвідмовної роботи через 30 000 км становить 0,7 за потреби не менше 0,85).

2. Залежність для оцінювання ймовірності безвідмовної роботи автобронетанкової техніки дозволяє визначити вплив на неї різних факторів та намітити шляхи забезпечення високого рівня безвідмовної роботи АБТ на етапі розроблення вимог до її сучасних зразків для Національної гвардії України.

Перелік джерел посилання

1. Тимошенко Р. І. Оновлення парку озброєння та військової техніки – шлях до боєздатності Збройних Сил України. *Збірник наукових праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського*. Київ, 2016. № 4. С. 6–11.
2. Чепков І. Б., Нор П. І. Загальні тенденції розвитку озброєння та військової техніки. *Озброєння та військова техніка*. 2014. № 1. С. 4–13.
3. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. Т.1. Методология. Организация. Терминология. Москва: Машиностроение, 1986. 224 с.
4. Анилович В. Я., Гринченко А. С., Литвиненко В. Л. Надежность машин в задачах и примерах. Харьков: Око, 2001. 319 с.
5. Головня С. Б. Розробка рекомендацій щодо покращення процесу оцінювання рівня технічної готовності транспортних засобів прикордонного загону. *Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України*. Хмельницький: НАДПСУ, 2014. Вип. 1 (61). С. 292–303.
6. Купріненко О. М. Сучасний стан та проблеми побудови типуажу бойових броньованих машин. *Системи озброєння і військова техніка*. 2012. № 2 (30). С. 62–65.
7. Иванченко А. О., Шаша И. К., Рогозин И. В. Выбор критерия оценки эксплуатационной надежности автомобилей. *Збірник наукових праць ХУПС*. Харків: ХУПС, 2014. Т. 3 (40). С. 149–151.
8. Демянчук Б. О., Малишкін О. В. Основы технического обеспечения. Обгрунтування рішень. Одеса: МО України, 2014. 208 с.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2019 р.

УДК 629.076:623.426

А. В. Ковтун, В. И. Кужелович, С. С. Лукашенко

В статье решается задача оценивания существующего и обеспечения заданного уровня надежности автобронетанковой техники путем исследования процесса изменения вероятности безотказной работы автомобилей и боевых машин и определения направлений поддержания заданного уровня их технической готовности.

Показано, что основным методом получения исходящей информации об отказах автомобилей (боевых машин) и их элементов есть испытания в условиях эксплуатации с использованием системы сбора и обработки информации о надежности.

Предложена зависимость, которая позволяет оценить уровень надежности автомобилей воинской части как составляющей готовности автобронетанковой техники к выполнению задач.

К л ю ч е в ы е с л о в а: техническая готовность, вооружение и военная техника, автобронетанковая техника, надежность, безотказность, показатели, вероятность безотказной работы.

UDC 629.076:623.426

A. Kovtun, V. Kuzelovich, S. Lukashenko

ESTIMATION OF CHANGING THE RELIABILITY OF AUTOMOTIVE MECHANICS OF THE MILITARY PART OF OPERATION

In this article the task of assessing the existing and providing a given level of reliability of cars and combat vehicles is solved by studying the process of changing the probability of failure-free operation of cars and combat vehicles and determining ways to maintain a given level of technical availability.

It is shown that the main method of obtaining initial information about the failure of cars and their elements is testing in the conditions of operation using a system for collecting and processing reliability information.

Due to the sharp increase in the complexity of combat vehicles, a thorough scientific substantiation of military-technical solutions in the design, testing, production and operation of vehicles and combat vehicles is needed. In this case, it is necessary to assess the current level of reliability of combat vehicles and predict the required level of reliability when carrying out the replacement of equipment.

It is possible to solve the problem of assessing the existing and providing a given level of reliability of cars and combat vehicles by studying the process of changing the probability of failure-free operation of cars and combat vehicles and determining ways to maintain a given level of their technical readiness. However, the existing indicators of technical readiness of weapons and military equipment do not provide an opportunity to assess the level of reliability of existing and determine the desired level of reliability of promising machines.

Proposed dependence, which allows assessing the level of reliability of military vehicles, as a part of the readiness of automotive equipment to perform tasks.

K e y w o r d s: reliability, technical readiness, weapons and military equipment, automotive equipment, fault tolerance, indicators, probability of failure-free operation

Ковтун Анатолій Васильович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/0000-0002-8427-1005](http://orcid.org/0000-0002-8427-1005)

Кужелович Віктор Іванович – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/0000-0002-6897-638X](http://orcid.org/0000-0002-6897-638X)

Лукашенко Сергій Сергійович – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/0000-0002-7121-9320](http://orcid.org/0000-0002-7121-9320)



П. І. Літовченко



В. А. Сало



В. М. Нечипоренко



В. П. Раківненко

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМОУТВОРЕННЯ ЛОПАТОК РОБОЧИХ КОЛІС ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ

На основі геометричного аналізу складної криволінійної поверхні міжлопаткового простору запропонована методика автоматизованого розрахунку керуючої геометричної інформації верстата з ЧПК для оброблення суцільних робочих коліс (моноколів) газотурбінних двигунів. Методику рекомендується використовувати у системах САМ при підготовці керуючих програм для верстатів з ЧПК.

Ключові слова: газований канал, поверхня корита і спинки лопатки, схема формоутворення, координати точок траєкторії, кінцева фреза, програмована точка інструмента, формоутворення і формоутворюючі елементи.

Постановка проблеми. Лопатки суцільних робочих коліс газотурбінних двигунів (ГТД), компресорів та ін. утворюють сукупність газових каналів, які обмежені складними криволінійними дискретно заданими поверхнями робочих лопаток. Моноколеса звичайно обробляють електрохімічними методами або на верстатах з ЧПК. Останнім часом електрохімічні методи застосовуються дуже рідко через великі екологічні проблеми. При формоутворенні моноколів на верстатах з ЧПК виникають труднощі математичного характеру, обумовлені дискретністю завдання робочих поверхонь лопаток, малою жорсткістю кінцевих інструментів, складністю траєкторії їхнього руху, високою ймовірністю пошкодження номінальних поверхонь лопаток при їх нерегламентованому контакті з інструментом – “підрізами”.

Отже, актуальними є розроблення ефективних математичних моделей формоутворення складних криволінійних поверхонь моноколів на верстатах з ЧПК і їх реалізація у вигляді методик автоматизованого розрахунку керуючої геометричної інформації з наступним використанням у системах САМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати останніх досліджень [1, 2] свідчать про те, що для попередньої обробки як моноколів ГТД, так і знімних лопаток застосовується фрезерування міжлопаткових каналів кінцевими фрезами на верстатах з ЧПК. При цьому ведеться пошук нових технологічних схем обробки коліс. Так, на підприємстві АО “Мотор Січ” для попередньої обробки моноколів впроваджено гідроабразивну обробку на 5-координатному верстаті з ЧПК. При цьому підвищується собівартість коліс, але застосування такої обробки для високоміцних коліс з титанових та інших жароміцних сплавів цілком виправдане, що особливо важливо для коліс, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів [3, 4].

У дисертації [5] автором розроблено кінематичні схеми і математичні моделі багатокординатного формоутворення міжлопаткових каналів кільцевим інструментом, аналітичні залежності конфігурації і розмірів ріжучого інструмента від параметрів міжлопаткових каналів коліс та технологію прорізування міжлопаткових каналів залежно від кінематичної схеми обробки колеса.

Для основних видів коліс ГТД розробляються нові ефективні схеми формоутворення кінцевою фрезою [6]. Одночасно удосконалюються системи геометричного моделювання, що використовуються при підготовці програм для верстатів з ЧПК. Іноді для компенсації неточності виготовлення коліс використовують раціональні пресові посадки колеса на вал, що забезпечують якісне центрування колеса і виключають його торцеве і радіальне биття [7].

Разом з удосконаленням технології пропонуються і нові методи описування геометрії робочих коліс, наприклад, за допомогою теорії R-функцій [8, 9]. Крім того, ведуться дослідження, спрямовані на підвищення міцності елементів коліс [10, 11]. Недоліком вказаних методів є їх недостатня універсальність для різних схем формування.

Метою дослідження є розроблення на основі аналізу геометричної інформації про деталь ефективної універсальної методики розрахунку параметрів траєкторії інструмента при обробці моноколеса ГТД, яка може застосовуватися для оброблення з точковим і лінійним торканням деталі та інструмента на верстатах з ЧПК.

Виклад основного матеріалу. Складна геометрична форма і характер взаємного розташування лопаток ускладнюють не тільки математичну обробку даних кресленика і підготовку геометричної інформації для керуючих програм верстатів з ЧПК, а й переміщення інструмента в зоні обробки при виконанні умов формування [6].

Газові міжлопаткові канали робочих коліс (рис. 1), обмежені з трьох боків коритом 4, спинкою 2 і ділянкою поверхні маточини 3, відносять до досліджуваного класу поверхонь. З погляду на теорію багатопараметричних відображень [12] вони мають складну геометричну структуру, що складається з перенесення, обертання і зміни масштабу твірної.

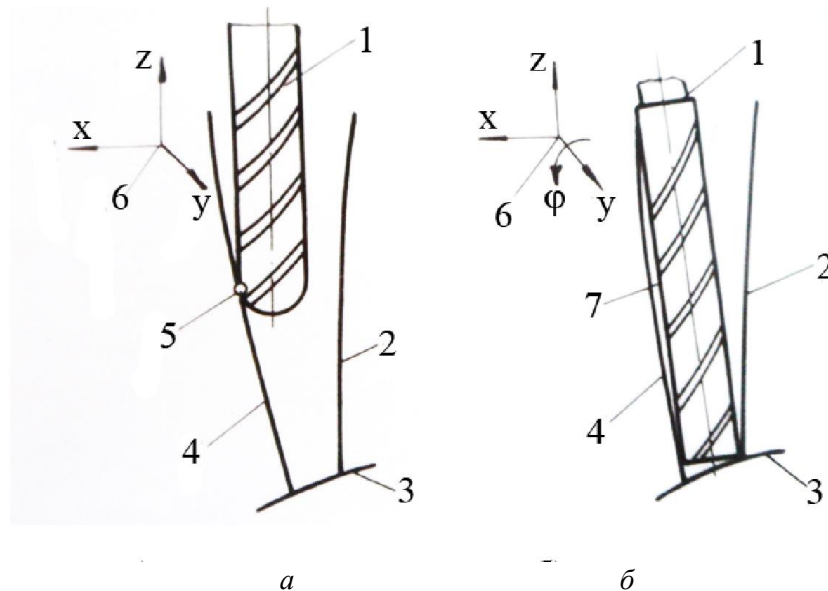


Рис. 1. Схеми формування газового каналу моноколеса:

a – трикоординатна схема; *б* – чотирикоординатна схема

(1 – пальцева фреза; 2 – спинка; 3 – маточина; 4 – корито;

5 – точка торкання фрези і деталі при 3-координатній схемі; 6 – система координат фрези;

7 – лінія торкання (твірна фрези) при 4-координатній схемі)

Важливою умовою вибору оптимальної схеми формування каналових поверхонь складної криволінійної форми є врахування геометричних особливостей оброблюваної поверхні. Геометричний аналіз поверхні газового каналу дозволяє не тільки заздалегідь вибрати габарити інструментів, визначити схеми формування, а й намітити маршрутну технологію обробки. Для реалізації запропонованої схеми обробки необхідно отримати траєкторії інструмента при формуванні корита однієї і спинки іншої, сусідньої з нею лопатки, тобто бічних поверхонь одного газового каналу. При цьому торець фрези формує ділянку маточини, яка розташована між коритом і спинкою (“дно” газового каналу). Після формування одного каналу робоче колесо

провертається, наприклад, за допомогою ділильної головки на два кутових кроки (обробка здійснюється через один канал).

Для побудови математичної моделі спочатку було взято кінематичну схему формоутворення. При цьому вважалось, що поверхня газового каналу може бути оброблена за двома схемами: з трьома і чотирма керованими координатами. У випадку трикоординатної обробки (рис. 1, а) спрощується підготовка керуючої геометричної інформації. Крім того, трикоординатний верстат з ЧПУ має більшу жорсткість, ніж чотирикоординатний, що підвищує точність обробки. Однак використання чотирьох керованих координат забезпечує лінійне торкання інструментальної та формоутворюваної поверхонь, що значно збільшує продуктивність обробки. З використанням апарату відображень і структурного підходу до моделювання формоутворення [12] чотирикоординатна схема узагальнюватиме в собі схеми з меншим числом координат, тому була вибрана саме вона (рис. 1, б).

Інструментом взято кінцеву фрезу з конічною ріжучою частиною, яка є більш жорсткою, ніж кінцева фреза з циліндричною ріжучою частиною. В процесі формоутворення оброблювана поверхня деталі є нерухомою, а інструмент робить такі формоутворюючі рухи (рис. 2): паралельне перенесення \bar{l}_1 уздовж осі X ; паралельне перенесення \bar{l}_2 уздовж осі Y ; паралельне перенесення \bar{l}_3 уздовж осі Z ; поворот $\bar{\varphi}$ навколо осі X .

За такої кінематичної схеми обробки в результаті складного руху формотворного елемента ріжучої кромки фрези (вважається, що кромка співпадає з твірною) отримуємо образ – лінійчату кінематичну поверхню. Цей результат формоутворення матимемо відповідно до принципу алгоритмічної спільності: рух формотворного елемента співпадає з рухом прообразу поверхні деталі повздовж напрямної. Отримана поверхня з деяким ступенем точності замінює номінальну поверхню виробу, тобто здійснюється часткове формоутворення поверхні лінією як формотворним елементом.

Щоб виконати формоутворення за даною моделлю, необхідно визначити траєкторію інструмента, якому належить формотворний елемент. Траєкторія фрези – це траєкторія точки, жорстко зв'язаної з нею (рис. 3, б). Таким чином, розрахунок траєкторії фрези зводиться до визначення координат послідовності її опорних точок.

Методика розрахунку траєкторії фрези впливає з регламентуючих умов торкання оброблюваної та інструментальної поверхонь або умов апроксимації кривих, які окреслюють профіль перерізу газового каналу, що утворює інструмент. Аналітично ця умова виражається таким чином:

$$\bar{r}_d = \bar{r}_\phi; \quad \ddot{\beta}_d = \ddot{\beta}_\phi, \quad (1)$$

де \bar{r}_d і \bar{r}_ϕ – радіуси-вектори оброблюваної та інструментальної поверхонь; β_d – кут нахилу дотичної до оброблюваної поверхні в даній точці до осі Z_1 ; β_ϕ – кут нахилу твірної фрези до осі Z_1 .

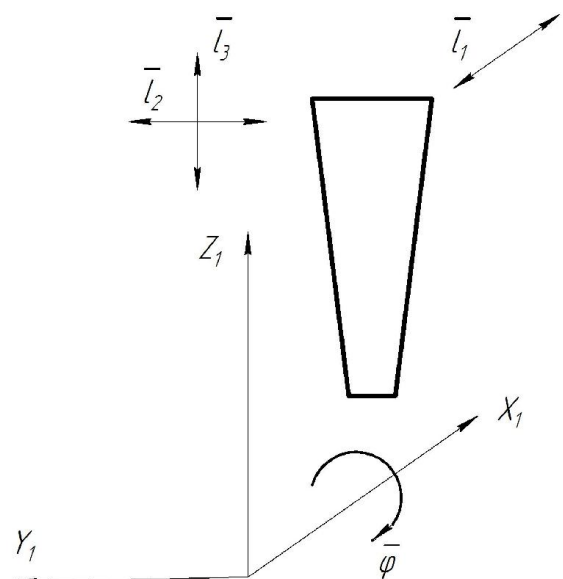


Рис. 2. Кінематична схема
формоутворення газового каналу

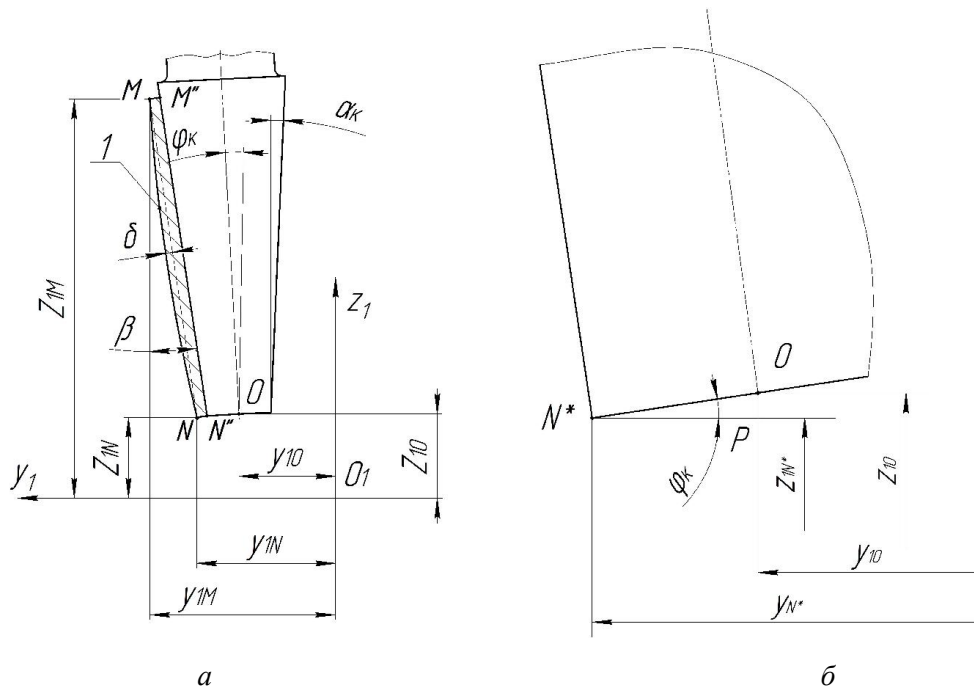


Рис. 3. До визначення координат траєкторії фрези і кута нахилу її осі:
 а – схема апроксимації перерізу деталі твірною інструмента;
 б – схема визначення координат програмованої точки

З рис. 3 випливає, що умови (1) виконуються лише в точках M та N , у решті точок існує похибка апроксимації δ . Розрахунок траєкторії можна виконувати лише після попередньої математичної обробки даних кресленника деталі і геометричного аналізу її робочих поверхонь. При цьому використано як поверхню деталі її дискретну модель – координати точок перерізу газового каналу. Вказану дискретну модель можна перетворити у наближено-аналітичну з використанням методики, викладеної у статті [12]. Однак у даному випадку такий перехід недоцільний через те, що обробка попередня і апроксимація здійснюється інтерполатором верстата з ЧПК, використовуючи точки перерізів газового каналу як вузлові. При застосуванні дискретної моделі регламентуючі умови для кожного з перерізів мають такий вигляд:

$$\bar{r}_{ли} = \bar{r}_{\phi i}; \quad \bar{\beta}_{ли} = \bar{\beta}_{\phi i}, \quad (2)$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, N$ – номери перерізів газового каналу, що визначаються координатами X_i .

Вибрана як інструмент фреза з конічною ріжучою частиною (див. рис. 3, а) має такі параметри: діаметри верхньої D і нижньої d підстав, довжина ріжучої частини l , кут нахилу твірної фрези до її осі α . З рис. 3, а випливає, що кут нахилу осі фрези до координатної осі z можна визначити в кожному i -му перерізі зі співвідношення

$$\phi_i = \beta_i \mp \alpha_k, \quad (3)$$

де верхній знак відповідає куту нахилу у випадку обробки корита, а нижній – спинки.

На рис. 3 спинка умовно не показана, оскільки всі геометричні побудови для розрахунку параметрів траєкторії фрези при формуванні спинки аналогічні побудові для корита. Кут нахилу твірної фрези β_i визначається з використанням умови апроксимації $\delta \leq Z_q$, де Z_q – сумарний нормальний припуск на попередню обробку спинки і корита, а δ – нормальний припуск під наступну чистову або напівчистову обробку:

$$\beta_i = \operatorname{arctg} \frac{y_{1Mi} - y_{1Ni}}{z_{1Mi} - z_{1Ni}}, \quad (4)$$

де $y_{1Mi}, y_{1Ni}, z_{1Mi}, z_{1Ni}$ – координати граничних точок кривої 1, що є i -м перерізом корита (спинки).

Кут нахилу твірної фрези до її осі визначається її габаритними розмірами:

$$\alpha_k = \frac{D-d}{2l}. \quad (5)$$

Підставляючи вирази (4) та (5) у формулу (3), отримаємо остаточний вигляд залежності для визначення миттєвого значення кута φ :

$$\varphi_i = \operatorname{arctg} \frac{y_{1Mi} - y_{1Ni}}{z_{1Mi} - z_{1Ni}} \mp \operatorname{arctg} \frac{D-d}{2l}. \quad (6)$$

Для визначення координат програмованої точки O фрези переходили від апроксимуючої прямої до відрізка твірної інструмента. Координати точок визначали з урахуванням необхідного припуску для подальшої обробки за формулами:

$$\begin{aligned} x_{1M'i} &= x_{1Mi}; y_{1M'i} = y_{1Mi} \mp \frac{\delta}{\cos \delta_i}; z_{1M'i} = z_{1Mi}. \\ x_{1N'i} &= x_{1Ni}; y_{1N'i} = y_{1Ni} \mp \frac{\delta}{\cos \delta_i}; z_{1N'i} = z_{1Ni}. \end{aligned} \quad (7)$$

З трикутника (див. рис. 3, б) визначали:

$$N'P = \frac{d}{2} \cos \varphi_i; OP = \frac{d}{2} \sin \varphi_i. \quad (8)$$

Координати точки визначали із співвідношень:

$$x_{1Oi} = x_{1N'i}; y_{1Oi} = y_{1N'i} - N'P; z_{1Oi} = z_{1N'i} + OP. \quad (9)$$

Підставляючи значення $x_{1N'i}, y_{1N'i}, z_{1N'i}$ з виразів (7) у формули (9) з урахуванням залежностей (8), отримали остаточний вигляд формул для розрахунку траєкторії кінцевої фрези у процесі оброблення поверхні газового каналу:

$$\begin{aligned} x_{1Oi} &= x_{1Ni}; \\ y_{1Oi} &= y_{1Ni} \mp \frac{\delta}{\cos \left(\operatorname{arctg} \frac{y_{1Mi} - y_{1Ni}}{z_{1Mi} - z_{1Ni}} \right)} - \frac{d}{2} \cos \varphi_i; \\ z_{1Oi} &= z_{1Ni} + \frac{d}{2} \sin \varphi_i. \end{aligned} \quad (10)$$

Таким чином, отримано аналітичні вирази (6), (10) для розрахунку кутового і лінійних переміщень інструмента по всіх керованих координатах верстата. Подальшим завданням є дослідження траєкторії інструмента на відсутність “підрізів” (інтерференції інструментальної та формоутворюваної поверхонь) і розроблення узагальненого структурного алгоритму розрахунку. Після реалізації такого алгоритму на комп’ютері отримані масиви числової інформації можна кодувати і вводити в систему верстата з ЧПК.

Із аналізу наведених на рис. 4 і 5 графіків випливає, що переміщення програмованої точки фрези у процесі оброблення корита і спинки корелює з дискретними точками перерізів відповідних елементів газового каналу.

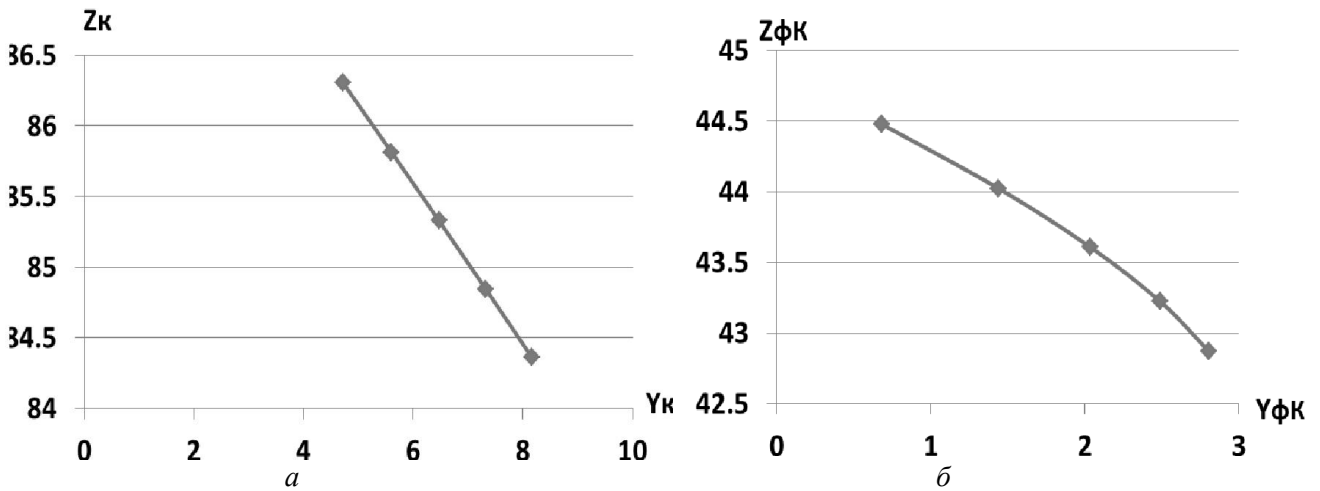


Рис. 4. Формування корита лопатки робочого колеса:
 a – i -й переріз поверхні корита; δ – траєкторія програмуємої точки фрези
 при формуванні i -го перерізу корита

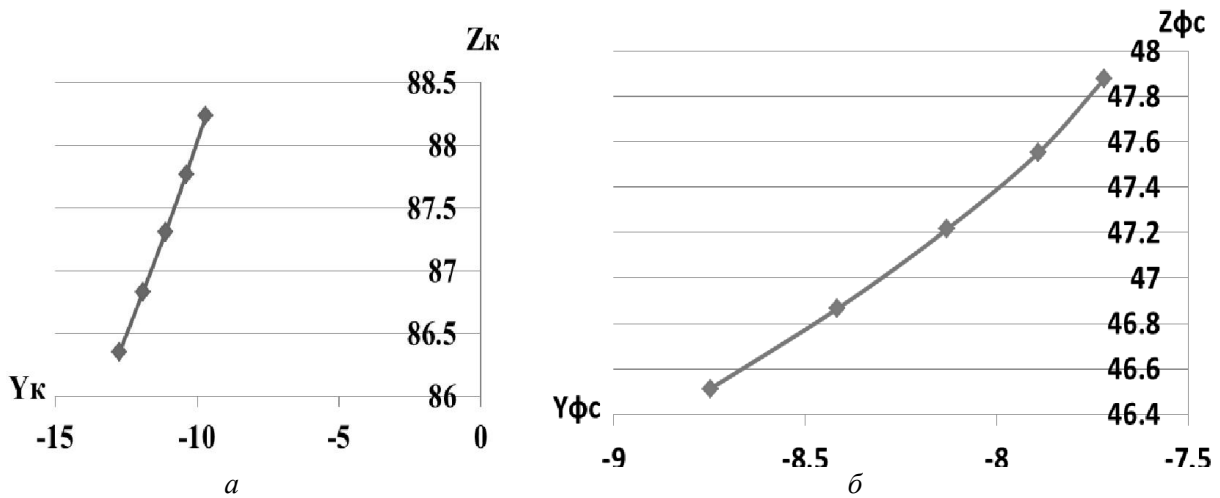


Рис. 5. Формування спинки лопатки робочого колеса:
 a – i -й переріз поверхні спинки; δ – траєкторія програмуємої точки фрези
 при формуванні i -го перерізу

На рис. 6 наведені графіки зміни кута нахилу осі фрези до її вертикальної осі, які показують, що значення кутів значно змінюються при переміщенні фрези. Це підтверджує прийняте рішення про використання чотирикоординатної схеми формування, яка складається з лінійних переміщень по осях X, Y, Z і повороту φ навколо осі Y .

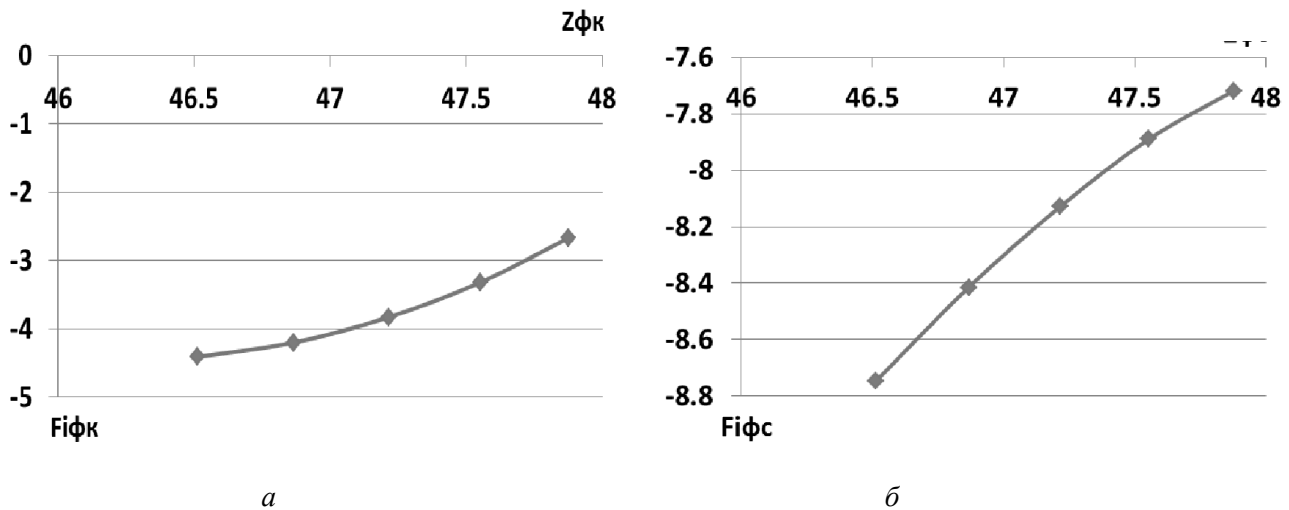


Рис. 6. Зміна кута нахилу осі фрези до вертикальної осі газового каналу:
a – при формоутворенні *i*-го перерізу поверхні корита; *б* – при формоутворенні *i*-го перерізу
поверхні спинки

Висновки

На основі дослідження та аналізу дискретно заданих поверхонь корита, спинки і маточини розроблено математичну модель формоутворення газового каналу моноколеса ГТД на верстаті з ЧПК. Аналіз результатів автоматизованого розрахунку параметрів траєкторії фрези підтверджує необхідність застосування чотирикоординатної схеми формоутворення. На основі розробленої моделі отримані методика та алгоритм розрахунку керуючої геометричної інформації для формоутворення моноколеса ГТД на верстаті з ЧПК. Перспективною областю застосування результатів є їх включення до складу систем САЕ/CAD/CAM.

Перелік джерел посилання

1. Современные методы предварительной обработки моноколёс ГТД на станках с ЧПУ / В. Ф. Мозговой и др. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2015. № 8. С. 5–10. http://nbuv.gov.ua/UJRN/aktit_2015_8_3.
2. Крымов В. В. Производство лопаток газотурбинных двигателей. Москва: Машиностроение-Полёт, 2002. 376 с.
3. Панасенко В. А., Качан А. Я., Мозговой В. Ф. Черновая обработка центробежных моноколёс ГТД с применением плунжерного фрезерования на обрабатывающих центрах с ЧПУ. *Авиационно-космическая техника и технология*. 2011. № 7 (84). С. 48–51.
4. Раківненко В. П., Кириченко О. М., Гребеник Л. А. Дослідження динамічної міцності дисків з фізично нелінійною характеристикою матеріалів, які застосовуються у зразках озброєння та військової техніки. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2017. Вип. 1(29). С. 110–113.
5. Курьлев Д. В. Основы формообразования межлопаточных каналов осевых моноколес при предварительном прорезании кольцевым инструментом: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.07. Казань, 2016. 134 с. <http://www.ulstu.ru/main?cmd=file&object=13888>.
6. Забезпечення умов формоутворення поверхонь робочих коліс газотурбінних двигунів / П. І. Літовченко та ін. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2017. Вип. 2(30). С. 83–87.
7. Новый научно обоснованный метод автоматизованого проектування посадок з натягом / П. І. Літовченко та ін. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2013. Вип. 1(21). С. 74–79.

8. Використання теорії R-функцій для створення раціональних посадок з натягом / В. М. Нечипоренко та ін. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2016. Вип. 2 (28). С. 72–76.

9. Сало В. А. О концентрации напряжений около отверстия в упругой сферической оболочке. *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов*: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского. Харьков, 2004. Вып. 2 (37). С. 66–72.

10. Сало В. А., Нечипоренко В. М. Дослідження міцності пружної циліндричної конструкції під дією локального навантаження. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2017. Вип. 2(30). С. 76–82.

11. Сало В. А., Литовченко П. И., Чижиков И. В. Напряженно-деформированное состояние упругой цилиндрической панели с отверстием. *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов*: сб. науч. тр. Нац. аэрокосмич. ун-та им. Н. Е. Жуковского. Харьков, 2011. Вып. 1 (65). – С. 63–70.

12. Перепелица Б. А., Літовченко П. І. Математическое и программное обеспечение структурного метода моделирования формообразования поверхностей. *Теория и методы автоматизации проектирования*. Минск: Ин-т техн. кибернетики, 1985. С. 112–122.

Стаття надійшла до редакції 04.11.2019 р.

УДК 621.9.04:621.914-529

П. И. Литовченко, В. А. Сало, В. Н. Нечипоренко, В. П. Ракивненко

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ЛОПАТОК РАБОЧИХ КОЛЕС ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

На основе геометрического анализа сложной криволинейной поверхности межлопаточного пространства предложена методика автоматизированного расчета управляющей геометрической информации станка с ЧПУ для обработки сплошных рабочих колес (моноколес) газотурбинных двигателей. Методику рекомендуется использовать в системах САМ при подготовке управляющих программ для станков с ЧПУ.

Ключевые слова: газовый канал, поверхность корыта и спинки лопатки, схема формообразования, координаты точек траектории, концевая фреза, программируемая точка инструмента, формообразование и формообразующие элементы.

UDC 621.9.04: 621.914-529

P. Litovchenko, V. Salo, V. Nechiporenko, V. Rakivnenko

MATHEMATICAL MODEL OF FORMING OF IMPELLER BLADES OF GTE

The actual problem of the formation of complex curved surfaces of the blade channels of solid impellers (unicycles) of a gas turbine engine is formulated and presented. When forming GTE unicycles on CNC machines, mathematical difficulties arise because of the discreteness of the task of the working surfaces of the blades, the low rigidity of the end tools, the complexity of their trajectory, the high probability of damage to the surfaces of the blades when they are inadvertently in contact with the tool - "undercuts". A detailed analysis of the specialized literature is performed. It is established that for the processing of GTE unicycles, milling of blade channels by end mills on CNC machines is used. Other technological methods are also used, for example, hydroabrasive treatment on a 5-coordinate CNC machine, shaping with a ring tool. The low universality of the listed methods and technologies, the use of laborious methods for the analytical

description of the surfaces of parts and tools, toolpaths of cutting tools are noted. The issues of geometric analysis of the surfaces of the gas channel, bounded by the "pressure side" and "back" of the adjacent blades, as well as by the section of the monowheel hub, are considered. The rationale for the choosing the shaping scheme depending on the geometry of the gas channel is given. A universal methodology based on the analysis of the geometric information about the part has been developed and described for calculating the parameters of the tool path when processing unicycles, which can be used in processing with point and linear contact of the part and tool. A mathematical model of the gas channel shaping on a four-coordinate CNC machine has been developed, a methodology and algorithm for calculating control geometric information for the shaping of GTE unicycles on a CNC machine have been obtained. A promising area of application of the results is their inclusion in the structure of CAD / CAM systems.

Key words: gas channel, surface of the pressure side and back of the blade, shaping scheme, coordinates of trajectory points, end mill, programmable tool point, shaping and shaping elements.

Літовченко Петро Іванович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
[http:// orcid.org/0000-0002-4483-597X](http://orcid.org/0000-0002-4483-597X)

Сало Валентин Андрійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
[http:// orcid.org/0000-0003-2533-0949](http://orcid.org/0000-0003-2533-0949)

Нечипоренко Володимир Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
[http:// orcid.org/0000-0002-4727-7344](http://orcid.org/0000-0002-4727-7344)

Раківненко Валерія Павлівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
[http:// orcid.org/0000-0002-6136-6191](http://orcid.org/0000-0002-6136-6191)



М. А. Подригало



Р. О. Кайдалов



С. А. Кудімов

ВПЛИВ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ НА РАЦІОНАЛЬНУ ДИНАМІЧНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ АВТОМОБІЛЯ

Запропонована удосконалена методика визначення раціональної динамічної характеристики автомобілів з використанням уточненого методу визначення сили аеродинамічного опору, яка діє на автомобіль у процесі руху, що ґрунтується на емпіричній залежності коефіцієнта лобового аеродинамічного опору від швидкості руху автомобіля.

К л ю ч о в і с л о в а: потужність двигуна, прискорення автомобіля, швидкість автомобіля, динамічна характеристика автомобіля, аеродинамічний опір.

Постановка проблеми. Раціональне використання запасу потужності двигуна дозволяє забезпечити ефективний розгін автомобіля. Питанню побудови раціональної динамічної характеристики розгону автомобіля присвячені праці багатьох авторів. Однак при визначенні прискорень автомобіля використовувалась традиційна методика розрахунку аеродинамічного опору, заснована на сталому значенні коефіцієнта лобового опору C_x у всьому діапазоні швидкостей руху. Проте зазначений коефіцієнт є несталим, що дає значну похибку при визначенні сил аеродинамічного опору.

У даній статті наведені результати синтезу раціональної динамічної характеристики розгону автомобіля з урахуванням залежності коефіцієнта C_x від швидкості.

Аналіз останніх досліджень і публікацій Розробленню та дослідженню раціональної динамічної характеристики розгону автомобілів присвячені публікації [1–4]. У працях [1] та [2] досліджувались раціональні швидкості руху автомобілів, за яких забезпечуються високі динамічні показники автомобіля. У працях [3] та [4] отримана раціональна динамічна характеристика розгону автомобіля, яка зв'язує між собою прискорення та швидкість автомобіля:

$$\dot{V}_a = \frac{dV_a}{dt} = \frac{8g\psi V_a^2}{\delta_{об}} \cdot \frac{\frac{m_a g \psi}{3kF} + V_a^2}{\left(\frac{m_a g \psi}{3kF} - V_a^2\right)^2}, \quad (1)$$

де \dot{V}_a ; V_a – лінійне прискорення і швидкість автомобіля;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння;

ψ – коефіцієнт сумарного дорожнього опору;

m_a – маса автомобіля;

$\delta_{об}$ – коефіцієнт урахування обертових мас трансмісії та двигуна [5];

U_k – передаточне число коробки передач;

F – площа лобового перерізу автомобіля в поперечній площині (мідель автомобіля);

k – коефіцієнт опору повітря;

C_x – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору;

ρ – густина повітря.

$$\delta_{об} = 1,03 + 0,05U_k^2. \quad (2)$$

$$k = \frac{C_x}{2} \rho. \quad (3)$$

Використовувана нині методика розрахунку сили аеродинамічного опору руху автомобіля розроблена на початку минулого століття у відомій праці [6]. Згідно із запропонованою теорією сила аеродинамічного опору визначається як

$$P_w = \frac{C_x}{2} \rho F V_a^2. \quad (4)$$

У вказаній праці [6] та довіднику [7] відмічається, що коефіцієнт C_x залежить від форми тіла та змінюється при зміні швидкості руху. В подальшому залежність C_x від швидкості подавали, вважаючи $C_x = \text{const}$ у всьому діапазоні швидкостей руху автомобіля. У публікації [8] показано, що за припущення $C_x = \text{const}$, вводиться значна похибка в оцінювання динамічних та енергетичних показників автомобіля. В результаті використання методу парціальних прискорень для вибігу автомобіля у цій праці отримана емпірична залежність коефіцієнта лобового аеродинамічного опору від швидкості

$$C_x = \frac{C_{x0}}{V_a^k}, \quad (5)$$

де k – показник ступеня (коефіцієнт регресії) в апроксимуючій залежності, що набуває різні значення залежно від конкретного автомобіля; C_{x0} – коефіцієнт лобового аеродинамічного опору при $V_a = 1 \text{ м/с}$.

Оскільки величина C_x безрозмірна, то в подальшому перетворимо вираз (5) до вигляду

$$C_x = \frac{A_w}{V_a^k}, \quad (6)$$

де A_w – коефіцієнт, чисельно рівний C_{x0} , але який має розмірність $(\text{м/с})^k$.

З урахуванням залежності (6) вираз (4) перетвориться до вигляду

$$P_w = \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{2-k}. \quad (7)$$

Результати розрахунку сили аеродинамічного опору P_w , виконаного у праці [8] за формулою (7) при $V_a = 125 \text{ км/год}$ для автомобіля “Славути”, показали зниження її величини у 6 разів, порівнюючи з традиційним розрахунком за формулою (4).

Сила аеродинамічного опору найбільше впливає на динаміку розгону автомобіля [9]. Уточнення методики її визначення потребує також уточнення раціональної динамічної характеристики розгону автомобіля.

Метою статті є отримання удосконаленої динамічної характеристики розгону з урахуванням методики розрахунку аеродинамічних параметрів автомобіля. Для виконання поставленого завдання необхідно визначити взаємозалежність між раціональним прискоренням та швидкістю автомобіля, використовуючи уточнений розрахунок сили аеродинамічного опору.

Викладення основного матеріалу. Вихідним рівнянням для отримання виразу (1) у працях [1, 2] було

$$N_p = N_e \cdot \eta_{тр} - N_\psi - N_w, \quad (8)$$

де N_p – частка потужності на ведучих колесах, що витрачається на розгін; N_e – ефективна потужність двигуна; N_ψ – потужність, що витрачається на подолання сумарного дорожнього опору; N_w – потужність, що витрачається на подолання аеродинамічного опору; $\eta_{тр}$ – ККД трансмісії.

Потужність, що витрачається на розгін, може бути визначена [10] як

$$N_p = \Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a \dot{V}_a V_a, \quad (9)$$

де ΔN_e – запас ефективної потужності двигуна на розгін автомобіля.

Потужність, що витрачається на подолання сумарного дорожнього опору,

$$N_\psi = P_\psi V_a = m_a g \psi V_a. \quad (10)$$

Потужність, що витрачається на подолання сили аеродинамічного опору,

$$N_w = P_w V_a \quad (11)$$

або з урахуванням виразу (7)

$$N_w = \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{3-k}. \quad (12)$$

Після підстановки виразів (9), (10) та (12) у рівняння балансу потужностей (8) отримаємо

$$\Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a \dot{V}_a V_a = N_e \cdot \eta_{тр} - m_a g \psi V_a - \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{3-k}. \quad (13)$$

При рівномірному русі автомобіля рівняння (13) набирає такого вигляду:

$$N_e \cdot \eta_{тр} - m_a g \psi V_a - \frac{A_w}{2} \rho F V_a^{3-k} = 0. \quad (14)$$

Для розгону автомобіля від швидкості V_a до V_{a1} необхідно збільшити ефективну потужність двигуна на величину ΔN_e . Рівняння балансу потужностей при досягненні автомобілем швидкості V_{a1} запишемо так:

$$(N_e + \Delta N_e) \cdot \eta_{тр} - m_a g \psi V_{a1} - \frac{A_w}{2} \rho F V_{a1}^{3-k} = 0. \quad (15)$$

Провівши почленне віднімання з рівняння (15) рівняння (14), отримаємо

$$\Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a g \psi (V_{a1} - V_a) + \frac{A_w}{2} \rho F (V_{a1}^{3-k} - V_a^{3-k}) \quad (16)$$

або

$$\Delta N_e \cdot \eta_{тр} = m_a g \psi \Delta V_a + \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}], \quad (17)$$

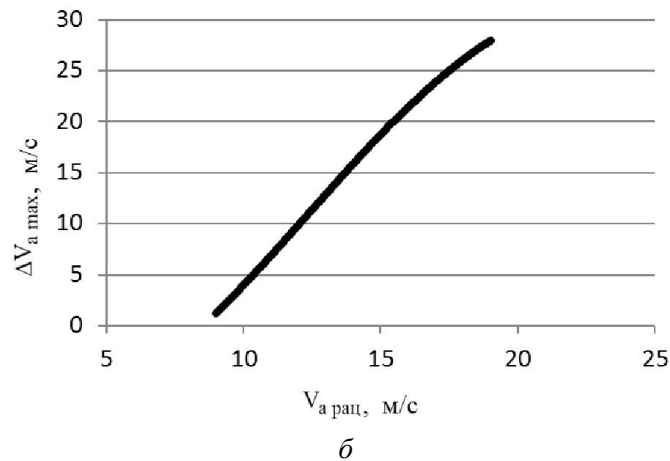
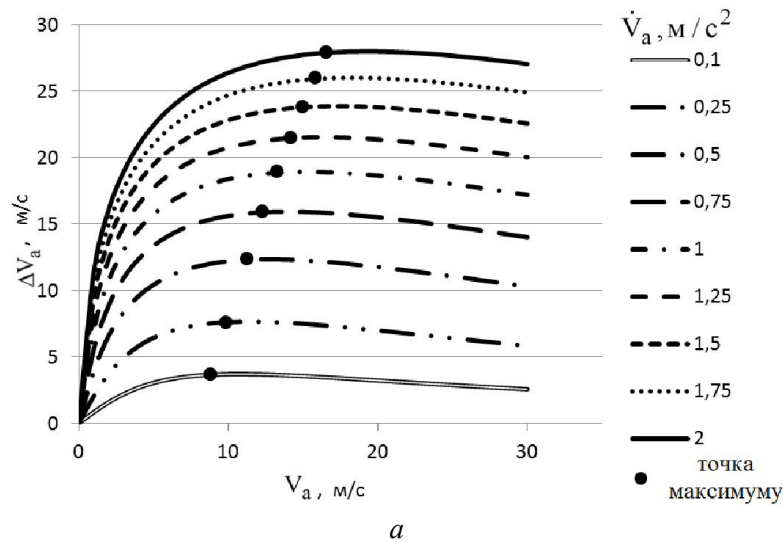
де ΔV_a – збільшення лінійної швидкості автомобіля, забезпечуване миттєвим ступінчастим збільшенням ефективної потужності двигуна на величину ΔN_e .

$$\Delta V_a = V_{a1} - V_a \quad (18)$$

Після підстановки співвідношення (9) в рівняння (17) отримаємо

$$m_a \dot{V}_a V_a = m_a g \psi \Delta V_a + \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}]. \quad (19)$$

На рисунку зображено отриману відповідно до рівняння (19), розв'язаного чисельним методом, раціональну динамічну характеристику бронеавтомобіля “ШРЕК”.



Раціональна динамічна характеристика бронеавтомобіля “ШРЕК”:

a – визначення максимального приросту швидкості; *б* – раціональна динамічна характеристика бронеавтомобіля “ШРЕК”

Визначити аналітичним методом величину ΔV_a з рівняння (19) важко. Тому перетворимо останнє рівняння до вигляду

$$m_a \dot{V}_a V_a \left(1 - \frac{g \psi \Delta V_a}{\dot{V}_a V_a} \right) = \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}]. \quad (20)$$

Для випадку руху автомобіля по дорозі з удосконаленим покриттям з невеликим значенням Ψ можливо припустити, що

$$\frac{g\Psi\Delta V_a}{\dot{V}_a V_a} \rightarrow 0. \quad (21)$$

У такому разі вираз (20) набиратиме вигляду

$$m_a \dot{V}_a V_a = \frac{A_w}{2} \rho F [(V_a + \Delta V_a)^{3-k} - V_a^{3-k}]. \quad (22)$$

Звідки

$$\Delta V_a \cong \sqrt[3-k]{\frac{2m_a}{A_w \rho F} \cdot V_a \dot{V}_a + V_a^{3-k} - V_a}. \quad (23)$$

Висновок

У ході проведеного дослідження отримана методика визначення раціональної динамічної характеристики автомобілів з використанням уточненого методу обчислення сили аеродинамічного опору, яка діє на автомобіль у процесі руху.

Перелік джерел посилання

1. Файст В. Л. Удосконалення вимог до динамічних властивостей легкових автомобілів: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20. Харків, 2012. 20 с.
2. Динамічні властивості та стабільність функціонування автотранспортних засобів: монографія / Д. В. Абрамов та ін.; за ред. М. А. Подригало і О. С. Полянського. Харків: ХНАДУ, 2014. 204 с.
3. Подригало М. А., Кайдалов Р. О. Раціональна динамічна характеристика автомобіля. *Вісник машинобудування та транспорту*: наук. журн. Вінниця, 2017. № 2(6). С. 78–85.
4. Кайдалов Р. О. Наукові основи створення автомобілів з комбінованою енергетичною установкою: автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.22.02. Харків, 2018. 40 с.
5. Бортницький П. И., Задорожний В. И. Тягово-скоростные качества автомобилей. Киев: Выща шк., 1978. 176 с.
6. Техническая энциклопедия / А. Н. Бах и др. Москва: Москомграф, 1927. Т. 1. 858 с.
7. BOSCH. Автомобильный справочник: пер. с англ. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: За рулем, 2004. 992 с.
8. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Н. П. Артемов и др. Харків: Міськдрук, 2012. 220 с.
9. Гащук П. Н. Энергетическая эффективность автомобиля. Львов: Свиш, 1992. 208 с.
10. Подригало М. А. Новое в теории эксплуатационных свойств автомобилей и тракторов. Харків: Акад. ВВ МВД Украины, 2013. 222 с.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2019 р.

УДК 629.017

М. А. Подригало, Р. О. Кайдалов, С. А. Кудимов

ВЛИЯНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАЦИОНАЛЬНУЮ ДИНАМИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ АВТОМОБИЛЯ

Предложена усовершенствованная методика определения рациональной динамической характеристики автомобилей с использованием уточненного метода определения силы

аэродинамического сопротивления, которая действует на автомобиль в процессе движения и основывается на эмпирической зависимости коэффициента лобового аэродинамического сопротивления от скорости движения автомобиля.

К л ю ч е в ы е с л о в а: мощность двигателя, ускорение автомобиля, скорость автомобиля, динамическая характеристика автомобиля, аэродинамическое сопротивление.

UDC 629.017

М. А. Podrigalo, R. O. Kaydalov, S. A. Kudimov

THE INFLUENCE OF AERODYNAMIC INDICATORS ON THE RATIONAL DYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE VEHICLE

Vehicle dynamism is one of the most important operational features of a vehicle. The speed of transportation, timeliness of the tasks of delivery of goods to the destination, the total volume of transportations per unit of time depend on its characteristics.

The rational use of the engine power reserve allows providing the highest level of dynamics and effective acceleration of the vehicle.

The works of many authors are dedicated to the development and construction of a rational dynamic car overclocking characteristic, as it enables high dynamic performance of the car.

Aerodynamic impedance of the motor is the factor that has the greatest impact on the energy consumption of the engine of the car. Therefore, taking into account the aerodynamic force arising from the movement of the car is an important component in the evaluation of the dynamic and energy parameters of the cars.

The current method of calculating the aerodynamic drag force of a car was proposed at the beginning of the last century. According to the proposed theory, the aerodynamic drag force is determined by using the aerodynamic drag coefficient C_x , which depends on the shape of the body and varies with the speed of movement. However, in the future, the mentioned coefficient was assumed to be equal to a constant value, which in turn introduced a significant error in the assessment of the dynamic and energy performance indicators of the car.

In this article, the method of determining the aerodynamic force acting on a car in the course of motion is considered, which is based on the empirical dependence of the coefficient C_x of frontal aerodynamic resistance on the speed of movement of the car. An improved technique for determining the rational dynamic characteristics of cars using these parameters is proposed. The dynamic characteristics of the "SHREK" armored vehicle in the range of speeds from 0 m/s to 30 m/s and acceleration from 0 m/s² to 2 m/s² are shown in the graphical form in accordance with the developed methodology for taking into account the refined parameters of calculation of the aerodynamic resistance force, which acts on the car while driving at different speeds.

The results of synthesis of rational dynamic characteristics of car acceleration are presented in the article, taking into account the dependence of the coefficient C_x on speed.

К e y w o r d s: engine power, vehicle acceleration, vehicle speed, dynamic vehicle performance, aerodynamic drag.

Подригало Михайло Абович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-1624-5219>

Кайдалов Руслан Олегович – доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-5131-6246>

Кудімов Сергій Анатолійович – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-7772-7115>



М. А. Подригало



Ю. В. Тарасов

ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У статті подано метод прогнозування підвищення показників динамічних властивостей, з використанням якого визначено взаємозв'язок між питомою потужністю та індексом динамічності автомобіля.

К л ю ч о в і с л о в а: динамічні властивості, прогнозування, індекс динамічності, вимоги суспільства, випробування автотранспортних засобів.

Постановка проблеми. Динамічні властивості характеризуються здатністю автомобілів рухатися за заданим законом під дією прикладених сил. Оцінювання динамічних властивостей автомобілів зводиться до розв'язування другої (прямої) задачі механіки. Проектуючи автомобілі, навпаки, за заданим законом руху автомобіля визначають діючі сили, тобто розв'язують першу (пряму) задачу механіки.

Очевидно, що з плином часу динамічні властивості автотранспортних засобів (АТЗ) повинні удосконалюватися, отже, будуть підвищуватися вимоги до їх оцінювання. Однак вимоги стандартів не можуть безперервно змінюватися протягом деякого часу. Вони мають певний термін дії і можуть або випереджати необхідний рівень вимог, або відставати від них.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Динамічні властивості включають в себе частину експлуатаційних властивостей автомобілів. Вперше поняття “експлуатаційні властивості автомобілів” ввів Е. А. Чудаков у своїх працях [1, 2, 3]. У праці [1] виділені експлуатаційні властивості, які є найбільш важливими з погляду на оцінювання придатності автомобіля для роботи в різних умовах: вантажопідйомність або пасажиромісткість, динамічні або тягові властивості, економічність, запас ходу, надійність, використання ваги, використання габариту, маневреність, стійкість, легкість управління, плавність ходу, легкість догляду за АТЗ.

Нормативи оцінювання динамічних властивостей АТЗ є вираженням вимог суспільства, які на даному часовому етапі зафіксовані у відповідному документі (стандарті, технічних умовах або регламентах). Правильний вибір значень нормативів ефективності, термінів їх дії сприяє підвищенню конкурентоспроможності автотранспортних засобів на світовому ринку [4]. Слід зазначити, що виробник, який здатний прогнозувати розвиток вимог суспільства до того чи іншого показника АТЗ, має високі шанси на успіх.

У статті [5] для оцінювання технічного рівня автомобілів за показниками динамічних властивостей введений новий показник – індекс динамічності, що дорівнює відношенню початкового прискорення при розгоні автотранспортних засобів до аналогічного показника автомобіля-лідера

$$q_i = \frac{\dot{V}_{0i}}{(\dot{V}_0)_{\max}}, \quad (1)$$

де \dot{V}_{0i} – величина початкового прискорення даного автотранспортного засобу; $(\dot{V}_0)_{\max}$ – максимальне початкове прискорення автомобіля-лідера.

Також у статті [5] введено індекс динамічності автомобіля-лідера, що дорівнює відношенню початкового прискорення при розгоні автомобіля-лідера до граничного прискорення по зчепленню ведучих коліс з дорогою

$$q_{\text{лід}} = \frac{(\dot{V}_0)_{\text{max}}}{\varphi g}, \quad (2)$$

де φ – коефіцієнт зчеплення ведучих коліс з дорогою; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

Ступінь досягнення розглянутими автомобілями граничних динамічних можливостей у статті [5] запропоновано оцінювати ступенем досягнення граничного лінійного прискорення

$$q_{\text{шт}} = q_i \cdot q_{\text{лід}}. \quad (3)$$

Проведений аналіз показав, що, незважаючи на різноманіття відомих показників динамічних властивостей, в літературі відсутні критерії, які дозволяють на етапі проектування і проведення випробувань задавати і оцінювати відповідність автомобілів сучасним вимогам динамічності.

Метою дослідження є підвищення точності прогнозування показників динамічних властивостей шляхом визначення взаємозв'язку між питомою потужністю та індексом динамічності автомобіля.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

– оцінити взаємозв'язок між питомою потужністю та індексом динамічності автотранспортних засобів;

– визначити залежність прогнозованих значень індексу динамічності і початкових прискорень автотранспортних засобів від глибини прогнозу $\Delta\Gamma(\Delta\lambda)$.

Виклад основного матеріалу. Слід зазначити, що у статті [5] початкове прискорення розгону визначається через тягову силу на ведучих колесах автомобіля при рушанні з місця. Як відомо, підвищити початкове прискорення при рушанні автомобіля з місця можна шляхом збільшення передавального відношення трансмісії на нижчій передачі. Цей показник не пов'язаний з питомою потужністю двигуна. Тому для прогнозування підвищення показників динамічних властивостей необхідно визначити взаємозв'язок між питомою потужністю та індексом динамічності автотранспортного засобу.

Потужність на ведучих колесах автомобіля може бути визначена як

$$N_K = P_K V_a, \quad (4)$$

де V_a – лінійна швидкість автотранспортного засобу; P_K – тягова сила автотранспортного засобу.

Швидкість збільшення потужності на ведучих колесах автомобіля за часом

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = P_K \frac{\partial V_a}{\partial t} + V_a \frac{\partial P_K}{\partial t}. \quad (5)$$

При рушанні з місця $V_a = 0$ та

$$P_K = m_{\Pi} \frac{\partial V_a}{\partial t}, \quad (6)$$

де m_{Π} – повна маса автотранспортного засобу.

При $V_a = 0$ і з урахуванням виразу (6) рівняння (5) набиратиме такого вигляду:

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = m_{\Pi} \left(\frac{\partial V_a}{\partial t} \right)^2, \quad (7)$$

вводячи позначення

$$\frac{\partial V_a}{\partial t} = \dot{V}_0, \quad (8)$$

а також, урахувавши співвідношення (1), (2), (3), перетворимо формулу (7) до виду

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = m_{\Pi} \Phi^2 g^2 q^2, \quad (9)$$

де q – індекс динамічності автотранспортного засобу.

$$q = \frac{\dot{V}_0}{\Phi g}. \quad (10)$$

З рівняння (9) визначимо

$$q = \frac{\sqrt{\frac{\partial N_K}{\partial t} / m_{\Pi}}}{\Phi g}. \quad (11)$$

Припустимо, що потужність на колесах АТЗ зростає за лінійним законом. У цьому випадку

$$N_K = N_{K \max} \frac{t}{t_H}, \quad (12)$$

де t – час; t_H – час наростання потужності на колесах від нуля до $N_{K \max}$.

Нехтуючи втратами потужності в трансмісії, вважатимемо $N_{K \max} = N_{e \max}$.

Диференціюючи вираз (12), отримаємо

$$\frac{\partial N_K}{\partial t} = \frac{N_{e \max}}{t_H}. \quad (13)$$

Підставляючи формулу (13) у вираз (11), отримаємо

$$q = \frac{\sqrt{\frac{N_{e \max}}{t_H m_{\Pi}}}}{\Phi g} = \frac{1}{\Phi g} \sqrt{\frac{N_{\text{пит}}}{t_H}}. \quad (14)$$

У розрахунках за формулою (14) слід брати q для випадку руху автомобіля по дорозі з твердим асфальтобетонним покриттям, тобто $\Phi = 0,8$.

Аналіз виразу (14) показує, що індекс динамічності залежить від часу t_H наростання ефективної потужності двигуна від нуля до $N_{e \max}$ за гіперболічним законом (рис. 1)

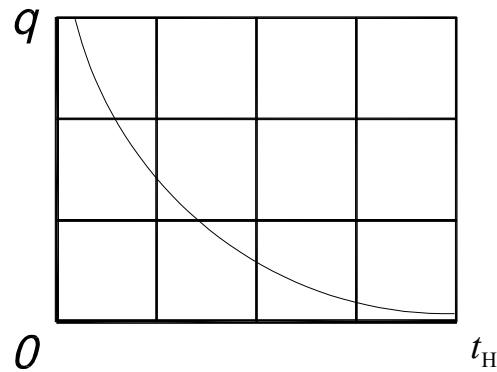


Рис. 1. Залежність індексу динамічності q від часу наростання
потужності на колесах t_H від нуля до $N_{K_{\max}}$

Очевидно, що величина q у рівнянні (14) не повинна перевищувати одиниці. Інакше відбудеться буксування ведучих коліс і стійкість поступального руху автомобіля буде порушена. З умови $q \leq 1$ за допомогою рівняння (14) визначимо

$$t_H \geq \frac{N_{\text{пит}}}{\varphi^2 g^2}. \quad (15)$$

Таким чином, час наростання t_H ефективної потужності двигуна від нуля до свого максимального значення є параметром, що також визначає динамічні властивості автотранспортного засобу.

Припустимо, що t_H дорівнює часу розгону t_{pvm} до максимальної швидкості $V_{a_{\max}}$. Оскільки в технічній літературі наводяться дані часу розгону t_{p100} автотранспортного засобу до швидкості $V_a = 100$ км/год, то шуканий час може бути визначено за такою формулою:

$$t_H = t_{pvm} = t_{p100} \frac{3,6V_{a_{\max}}}{100} = \frac{t_{p100}V_{a_{\max}}}{27,8}, \quad (16)$$

де $V_{a_{\max}}$ – максимальна конструктивна швидкість автотранспортного засобу, м/с.

$$V_{a_{\max}} = 161,67 \{1,043 - \exp[-(0,382 \pm 0,14)(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}, \quad (17)$$

де λ_0 – відносний час, що відповідає моменту початку проектування автотранспортного засобу;
 $\Delta\lambda$ – зміна відносного часу, що відповідає тривалості проектування, випуску і терміну служби автотранспортного засобу.

Підставляючи формулу (17) у вираз (16), отримаємо

$$t_H = t_{pvm} = 5,815 t_{p100} \{1,043 - \exp[-(0,382 \pm 0,14)(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}. \quad (18)$$

Рівняння (14) після підстановки в нього виразу (18) набиратиме вигляду

$$q = \frac{10,26}{\varphi g} \sqrt{\frac{(1 \pm 0,128) \{1,043 - \exp[-0,382(1 \pm 0,366)(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{p100}}}. \quad (19)$$

Граничні значення q :

$$q_{\max} = \frac{10,997}{\varphi g} \sqrt{\frac{\{1,043 - \exp[-0,521(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{P100}}}, \quad (20)$$

$$q_{\min} = \frac{9,581}{\varphi g} \sqrt{\frac{\{1,043 - \exp[-0,242(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{P100}}}. \quad (21)$$

Середнє значення показника q :

$$\bar{q} = \frac{10,26}{\varphi g} \sqrt{\frac{\{1,043 - \exp[-0,382(\lambda_0 + \Delta\lambda)]\}}{t_{P100}}}. \quad (22)$$

На рис. 2 наведені графіки залежностей $\bar{q}(\Delta\lambda)$, $q_{\max}(\Delta\lambda)$ та $q_{\min}(\Delta\lambda)$, побудовані для $t_{P100} = 10$ с. Вибране значення t_{P100} відповідає досягнутим результатам для АТЗ у наш час.

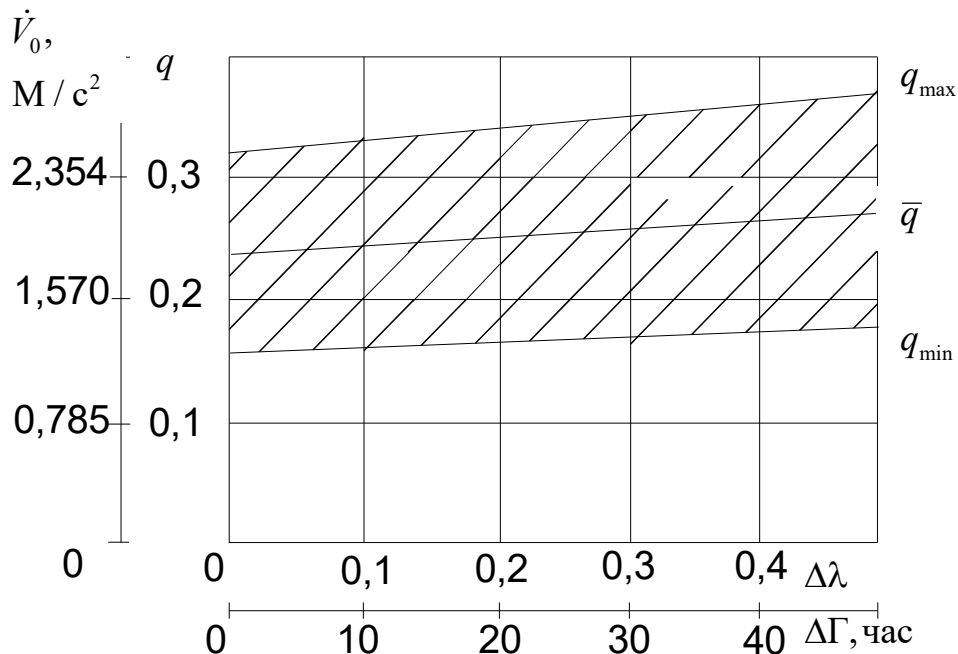


Рис. 2. Залежності прогнозованих значень індексу динамічності і початкових прискорень АТЗ від глибини прогнозу $\Delta\Gamma(\Delta\lambda)$

Висновок

Отримані аналітичні вирази дозволяють прогнозувати на етапі попереднього проектування показники динамічних властивостей автотранспортних засобів. А саме: залежність індексу динамічності q від часу наростання потужності на колесах t_H від нуля до $N_{K \max}$.

Перелік джерел посилання

1. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. Москва: ОНТИ-НКТП СССР, 1935. 392 с.
2. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. Москва: Машгиз, 1940. 396 с.
3. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. Москва: Машгиз, 1950. 343 с.

4. Лаптев С. А. Комплексная система испытаний автомобилей: формирование, развитие, стандартизация. Москва: Изд-во стандартов, 1991. 172 с.

5. Подригало М. А., Клец Д. М., Мостовая А. Н. Оценка технического уровня по показателям динамических свойств автомобилей. *Вісник Національного транспортного університету*: наук.-техн. зб. Київ, 2012. Вип. 25. С. 226–223.

Стаття надійшла до редакції 30.10.2019 р.

УДК 629.113-592

М. А. Подригало, Ю. В. Тарасов

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В статье представлен метод прогнозирования повышения показателей динамических свойств, с использованием которого определена взаимосвязь между удельной мощностью и индексом динамичности автомобиля.

К л ю ч е в ы е с л о в а: динамические свойства, прогнозирование, индекс динамичности, требования общества, испытание автотранспортных средств.

UDC 629.113-592

M. Podrigalo, Yu. Tarasov

FORCASTING OF DYNAMIC PROPERTIES OF VEHICLES

Dynamic properties are characterized by the ability of vehicle to move according to a given law under the action of applied forces. Assessment of vehicle dynamic properties comes down to solving the 2nd (direct) problem of mechanics. In the designing vehicles, on the contrary, according to a given law of vehicle motion, the acting forces are determined, that is solving the 1st (direct) problem of mechanics. The standards for assessing the dynamic properties of vehicles are an expression of the requirements of the company, at this time stage, fixed in the relevant document (standard, technical conditions or regulations). The correct choice of the efficiency standards values, their terms of action helps to increase the competitiveness of vehicle in the world market.

In the work of Podrygalo M.A. (assessment of the technical level by indicators of the vehicle dynamic properties) to assess the technical level of cars by indicators of dynamic properties, a new indicator has been introduced – the dynamic index q_i .

The analysis showed that, despite the variety of known dynamic properties indicators, there are no criteria in the literature that allow, at the design and testing stages, setting and evaluating the compliance of vehicles with modern requirements for dynamism. The purpose of the study is to increase the accuracy of predicting dynamic property indicators by determining the relationship between power density and vehicle dynamic index.

It should be noted that in the work of Podrygalo M.. (assessment of the technical level by indicators of the vehicle dynamic properties) the initial acceleration is determined through the traction force to the driving wheels of vehicle when starting. As we know, it is possible to increase the initial vehicles acceleration when starting by increasing the gear ratio of the transmission in lower gear. This indicator is not related to engine power density. Therefore, in order to predict the increasing of dynamic properties, it is necessary to determine the relationship between power density and vehicle dynamic index

Analyzing the dependence of dynamic index q_i shows that it depends on the time t_H of increasing effective engine power from zero to $N_{e_{max}}$ according to the hyperbolic law.

Obviously, the value q should not exceed unity. Otherwise, drive wheels will drag and the stability of vehicle translational movement will be violated.

Thus, the rise time t_H of the effective engine power from zero to its maximum value is a parameter that also determines vehicle dynamic properties.

Conclusions – the obtained analytical expressions allow us to predict at the stage of preliminary design indicators of vehicles dynamic properties. Namely: the dependence of the dynamic index q on the time t_H of the increase in power to wheels from zero to $N_{K \max}$.

K e y w o r d s: dynamic properties, prediction, dynamic index, society requirements, vehicle test.

Подригало Михайло Абович – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0002-1624-5219>

Тарасов Юрій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри підготовки офіцерів запасу Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0003-4562-7838>



О. Ю. Шабалін



О. М. Кириченко



В. П. Раківненко



В. А. Сало



Л. А. Гребеник

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ МІЦНОСТІ ЦИСТЕРНИ З РІДИНОЮ ПРИ НЕРІВНОМІРНОМУ РУСІ АВТОЗАПРАВНИКА

У статті наведено дослідження щодо підвищення динамічної міцності цистерни з рідиною при нерівномірному русі автозаправника (розгін або гальмування) шляхом розвантаження вузла з'єднання корпусу цистерни з днищем розпірно-стикувальним шпангоутом.

К л ю ч о в і с л о в а: цистерна автозаправника, розпірно-стикувальний шпангоут, напружено-деформований стан, сферична пружна оболонка, умова міцності.

Постановка проблеми. Однією із задач енергозабезпечення було і є швидке та безаварійне транспортування нафтопродуктів до споживача. Засоби доставки існують різні, але в зонах, де відсутня залізнична інфраструктура, і особливо, коли мова йде про забезпечення паливом військових частин під час проведення ними бойових дій, використання автозаправників є беззаперечним. Із зазначеного випливає актуальність подальшого удосконалення конструктивних і експлуатаційних характеристик автоцистерн, забезпечення їх високої надійності та відповідності вимогам екологічної безпеки.

При нерівномірному русі заправленої автоцистерни в ній відбувається коливання рідини, внаслідок чого до дії на корпус і днище, крім надлишкового тиску насиченої пари компонента та гідродинамічного тиску, додається ще і сила гідродинамічного удару рухомої частини рідини, сумарні напруження від дії яких можуть перевищувати границю міцності матеріалу конструкції. Через це може відбутися пошкодження не тільки внутрішніх діафрагм – демпферів і зливної горловини, а і найнебезпечніше – відрив днища від корпусу цистерни. Теорія свідчить [3, 9], а практика підтверджує, що найбільш вразливим у випадку екстремального навантаження цистерни є вузол з'єднання корпусу з днищем, особливо, якщо приварене плоске днище. При динамічному ударі рухомої частини рідини, яка складає близько 10 % від всієї її маси, днище втратить стійкість, або, з великою ймовірністю, буде відірване [3]. Тому для розвантаження вузла з'єднання пропонується між корпусом і днищем поставити розпірно-стикувальний шпангоут, який сприйматиме значну частку навантаження, а замість плоского – застосовувати днище у вигляді сегмента сфери, яке буде працювати лише на розтяг.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вперше проблему руху твердого тіла з порожнинами, які заповнені рідиною, дослідив М. Є. Жуковський [1]. Його теорія про гідродинамічний взаємозв'язок рухомої ємності і рідини в ній покладена в основу подальших розробок і конструювання цистерн для транспортування рідинних речовин з різними властивостями.

Серед великої кількості наукових праць, які близькі до тематики, що розглядається, слід відзначити такі публікації, як [2–4]. У цих працях має місце фрагментарне дослідження умов безпечної експлуатації автоцистерн, але в жодній з них не визначено найбільш вразливого за умовами міцності елемента конструкції, яким є вузол з'єднання корпусу цистерни з її днищами. Разом з тим можна послатися на праці [5–8], в яких пропонується досліджувати міцність пружних оболонкових конструкцій ефективним чисельно-аналітичним RVR-методом для крайових задач у випадку статичного навантаження.

Мета статті полягає у чисельному дослідженні величини динамічного навантаження цистерни з рідиною при нерівномірному русі автозаправника для визначення конструкційних засобів підвищення її міцності та надання рекомендацій щодо межі безпечного режиму транспортування.

Виклад основного матеріалу. Напружений стан корпусу цистерни і днищ в основному характеризується розтягуючими зусиллями, крім вузької крайової зони в районі стикувального вузла, де вони стають стискаючими. Отже дослідження полягає у визначенні спроможності розпирного шпангоута сприймати стискаючі зусилля з урахуванням силової підтримки прилеглих частин корпусу цистерни і днищ. Для оцінювання міцності шпангоута необхідно знайти і порівняти діючі в ньому напруження з руйнуючими.

Дослідження проведемо для випадку прискореного руху цистерни з циліндричним корпусом та днищами у вигляді сферичних сегментів і посиленим стискувальним вузлом. З урахуванням вказаних особливостей навантаження стискувального вузла розрахункова схема задачі набирає вигляду, зображеного на рис. 1, де T – точка встановлення шпангоута.

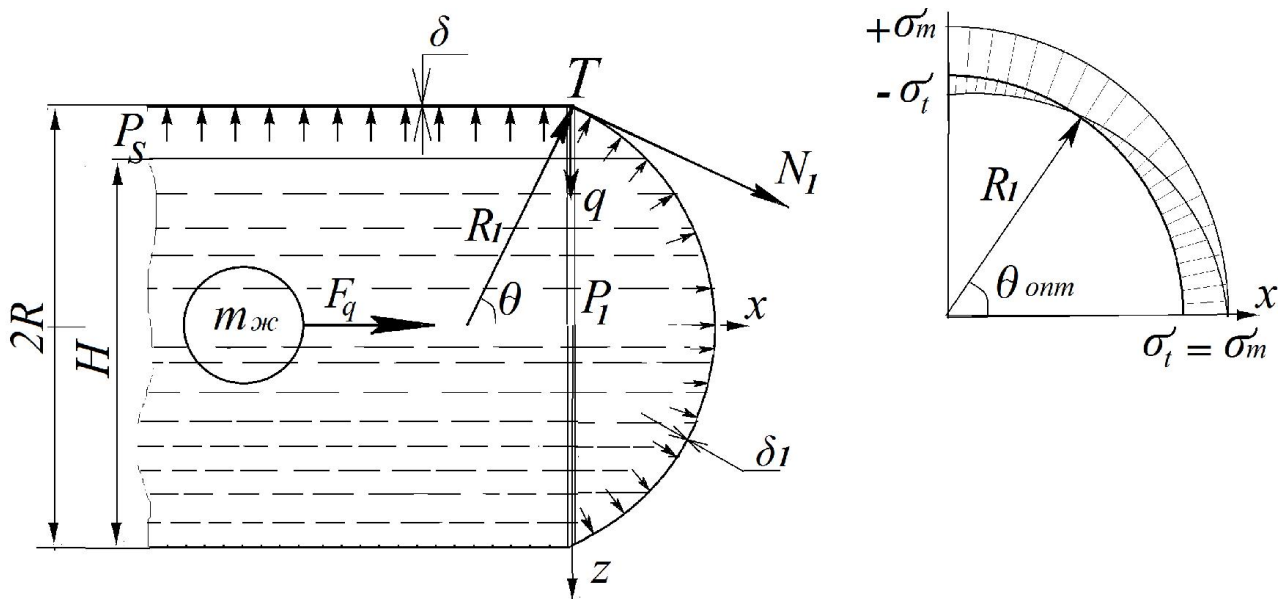


Рис. 1. Розрахункова схема задачі

На рис. 1 позначено:

$m_{ж}$ – маса рухомої частини рідини;

$F_g = m_{ж} g_0$ – динамічна сила, що діє на днище від рухомої частини рідини;

P_s – тиск насиченої пари рідини;

$P_{rc} = \rho g_0 H n_x$ – гідродинамічний тиск стовпа рідини на днище;

n_x – коефіцієнт осьового перевантаження цистерни;

g_0, ρ, H – відповідно прискорення земного тяжіння, густина і рівень рідини в цистерні;

$P_1 = P_s + P_{rc} + \frac{F_g n_x}{\pi R^2}$ – сумарний тиск на днище;

$N_1 = \frac{P_1 R_1}{2}$ – мембранне зусилля в днищі;

σ_r та σ_m – нормальні окружне і меридіанне напруження в днищі;

$q = N_1 \cos \theta$ – розпирне зусилля в шпангоуті;

R, δ та R_1, δ_1, θ – геометричні параметри корпусу і днища.

Діючі в шпангоуті напруження σ_g з урахуванням силової підтримки прилеглих частин корпусу цистерни і днища визначимо, користуючись теорією крайового ефекту. Для цього стискувальний

вузол розділимо умовно на окремі елементи (рис. 2). Взаємний вплив елементів урахуємо введенням внутрішніх зусиль і згинальних моментів.

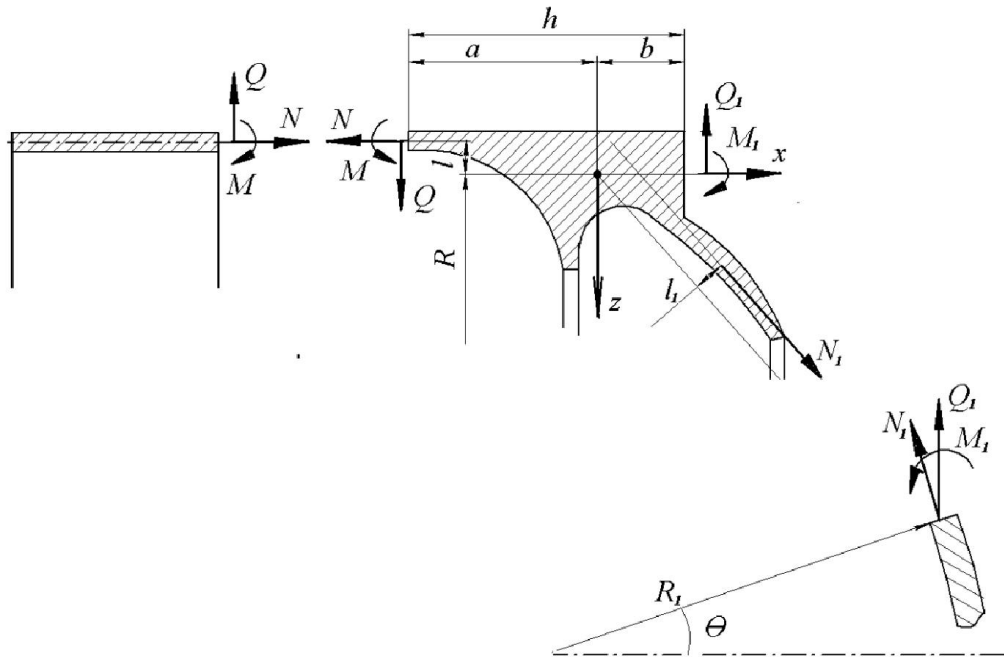


Рис. 2. Схема визначення внутрішніх зусиль і моментів

Складемо системи рівнянь радіального переміщення і рівноваги для кожного з елементів при дії зовнішнього навантаження.

1. Для шпангоута:

$$w = \frac{R^2}{EA} (Q + Q_1 + N_1 \cos \theta - f P_1 h);$$

$$-M + M_1 + Q_1 b - Q a + N_1 l_1 - \frac{f P_1 R}{2} l_2 = 0,$$
(1)

де w – радіальне переміщення шпангоута;
 Q, Q_1 та M, M_1 – поперечні зусилля і згинальні моменти;
 N, N_1 – мембранні зусилля в корпусі цистерні;
 E і A_w – модуль Юнга і площа перерізу шпангоута;
 f – коефіцієнт безпеки.

2. Для краю циліндричної частини:

$$w = \frac{1}{2\beta^2 D} (\beta M - Q) - \frac{f P_1 R^2}{E \delta};$$

$$\frac{1}{2\beta^2 D} (2\beta M - Q) = 0,$$
(2)

де $D = \frac{E \delta^3}{12(1 - \mu^2)}$ – циліндрична жорсткість корпусу;

(3)

$$\beta^4 = \frac{3(1 - \mu^2)}{R^2 \delta^2}.$$
(4)

3. Для краю сферичного днища:

$$w = \frac{2\lambda^2 \sin \theta}{E \delta_1} M_1 - \frac{2R_1 \lambda \sin^2 \theta}{E \delta_1} Q_1 - \frac{f P_1 R_1^2 (1 - \mu)}{2E \delta} \sin \theta; \quad (5)$$

$$-\frac{4\lambda^3}{E \delta_1 R_1} M_1 + \frac{2\lambda^2 \sin \theta}{E \delta_1} Q_1 = 0,$$

де μ – коефіцієнт Пуассона;

$$\lambda^4 = 3(1 - \mu^2) \cdot \left(\frac{R_1}{\delta_1} \right)^2. \quad (6)$$

Сумісне розв’язання рівнянь (1), (2) і (5) дає можливість записати кінцеву формулу для визначення радіального переміщення стискувального шпангоута при дії сумарного зовнішнього навантаження:

$$w = \frac{f P_1 R^2 R_1}{2E A_u} \cdot \frac{\cos \theta - \frac{2h}{R_1} - \frac{1 - \mu}{\lambda \sin \theta} - \frac{8R^2}{E \delta R_1} \beta^3 D}{1 + \frac{R^2 \delta_1}{A_u R_1 \lambda \sin^2 \theta} + \frac{4R^2}{E A_u} \beta^3 D}. \quad (7)$$

Діючим напруженням, яке відповідає знайденому переміщенню, буде

$$\sigma_d = E \frac{w}{R}. \quad (8)$$

Руйнуючим для стиснутого шпангоута може бути напруження втрати стійкості $\sigma_{кр}$ або границя міцності матеріалу σ_b .

У науковій літературі відомі дослідження стійкості стиснутого розподіленим навантаженням кільця шпангоута, яке по краях підтримується іншими пружними елементами [9], а також численні розрахунки з цього приводу, згідно з якими критичні напруження втрати стійкості кільцем значно перевищують напруження міцності (про що йдеться у статті [10], яка входить до науко-метричної бази Scopus).

Отже, при $\sigma_{кр} \geq \sigma_b$ стиснутий шпангоут необхідно розраховувати на міцність і руйнуючим напруженням буде $\sigma_p = \kappa \sigma_b$, де κ – коефіцієнт, що враховує ослаблення матеріалу зварюванням. Найбільш ефективним критерієм оцінювання працездатності стискувального вузла може бути величина коефіцієнта запасу міцності шпангоута

$$\eta = \frac{\kappa \sigma_b}{\sigma_d}. \quad (9)$$

залежно від величин коефіцієнта осьового перевантаження автоцистерни n_x і половини центрального кута сферичного сегмента θ .

Запропоновану методику застосуємо для розрахунку міцності стискувального вузла модернізованої цистерни з циліндричним корпусом та днищем у вигляді сферичних сегментів і розпірного шпангоута, використовуючи основні параметри автозаправника АТЗ-3,8-55А (рис. 3).

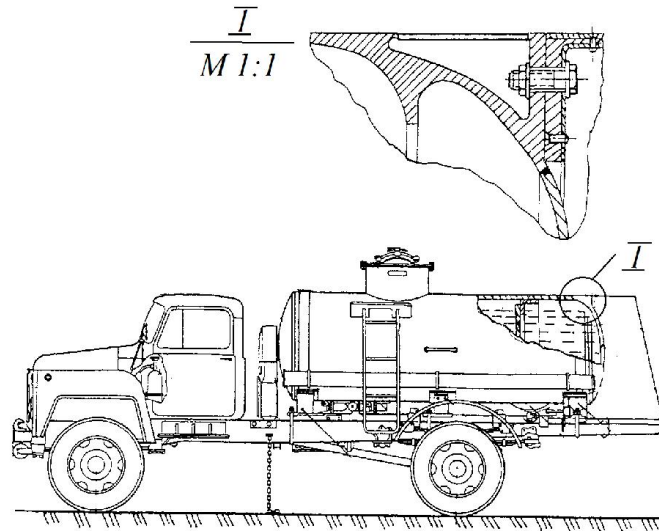


Рис. 3. Модернізована цистерна автозаправника АТЗ-3,8-55А

Вихідні розрахункові дані:

рідина – бензин А-93 ($\rho = 710 \text{ кг/м}^3$, $P_s = 0,04 \text{ МПа}$);

$m_{жс} = 245 \text{ кг}$ рухома частина рідини [3];

$R = 0,6 \text{ м}$, $R_1 = \frac{R}{\sin \theta}$, $\delta = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $\delta_1 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ – геометричні параметри цистерни;

АМг-6 ($E = 0,7 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $\sigma_b = 320 \text{ МПа}$, $\mu = 0,3$) – матеріал цистерни.

У конструкцію стискувального вузла встановлено розпірний порожньотілий шпангоут, у якого більший осьовий момент інерції, порівняно із суцільним шпангоутом тієї ж маси, і який забезпечує зручне кріплення до цистерни кабіни управління (рис. 3).

З урахуванням рівнянь (1) – (13) розв'язування задачі виконане за універсальною комп'ютерною програмою MAPLE-16 і подане у вигляді графіків $\eta = f(n_x)$, побудованих для різних значень напівкута днища θ (рис. 4).

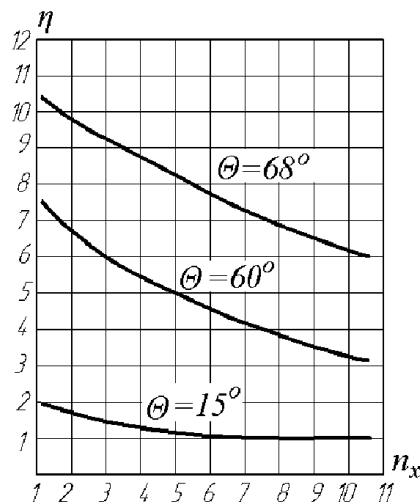


Рис. 4. Залежність величини η від зміни коефіцієнта перевантаження n_x

З аналізу графіків випливає, що найбільший коефіцієнт запасу міцності розпірного шпангоута досягається при центральному напівкуті днища $\theta_{opt} = 68^\circ$, коли стискаючі тангенціальні напруження дорівнюють нулю [11].

Слід зазначити, що автоцистерна – агрегат багаторазового використання, який становить певну екологічну загрозу довкіллю, тому і ступінь надійності її повинен бути достатньо високим, що відповідає значенню коефіцієнта запасу міцності шпангоута в межах $\eta = 7 \dots 9$ при допустимих коефіцієнтах перевантаження $n_x = 4 \dots 8$. Але такі перевантаження неприйнятні для водія, тому в системі управління автомобіля мають бути передбачені акселерометри, які б в аварійних ситуаціях руху (при $n_x \geq 3$) блокували ведучі колеса автомобіля з одночасним виключенням системи запалювання і задіянням подушок безпеки.

Висновки

У статті наведено дослідження щодо підвищення динамічної міцності цистерни з рідиною при нерівномірному русі автозаправника (розгін або гальмування). Результати дослідження дають можливість оцінити кількісний характер динамічного навантаження автоцистерни, а також запропонувати конструкційні засоби підвищення її міцності, рекомендувати безпечний режим руху.

Перелік джерел посилання

1. Жуковский Н. Е. О движении твердого тела, имеющего полости, наполнение однородной капельной жидкостью. *Собрание сочинений. Вып. 1.* Москва: ГНТИ, 1931. Т. 2. 136 с.
2. Глущенко В. В., Подригало М. А., Абрамов Д. В. Оцінювання стійкості автомобілів-цистерн проти перекидання в поперечній площині. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України.* Харків: НАНГУ, 2016. Вип. 1 (27). С. 13–19.
3. Соколовський С. А. Динамічні характеристики рухомої цистерни з рідиною. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України.* Харків: Акад. ВВ МВС України, 2011. Вип. 1 (17). С. 75–83.
4. Шабалін О. Ю., Глущенко В. В. Дослідження впливу механічних пошкоджень поверхні оболонкових конструкцій на їх несучу здатність. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України.* Харків: НАНГУ, 2018. Вип. 1 (31). С. 46–51.
5. Сало В. А., Литовченко П. И., Чижиков И. В. Напряженно-деформированное состояние упругой цилиндрической панели с отверстием. *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов.* Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, 2011. Вып. 1 (65). С. 63–70.
6. Сало В. А. О концентрации напряжений около отверстия в упругой сферической оболочке. *Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов.* Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского “ХАИ”, 2004. Вып. 2 (37). С. 66–72.
7. Сало В. А., Нечипоренко В. М. Дослідження міцності пружної циліндричної конструкції під дією локального навантаження. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України.* Харків: НАНГУ, 2017. Вип. 2 (28). С. 76–82.
8. Calculation of stress concentrations in orthotropic cylindrical shells with holes on the basis of a variational method / V. A. Salo et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2019. Vol. 3, Issue 7 (99). P. 11–17. doi: 10.15587/1729-4061.2019.169631.
9. Кан С. Н. Строительная механика оболочек. Москва: Машиностроение, 1966. 508 с.
10. Кан С. Н., Ингульцов В. Л., Кириченко А. Н. Устойчивость цилиндрических оболочек с подкрепляющим слоем. *Прикладная механика.* Киев, 1972. Т. 5, № 8. С. 50–56. Access in Scopus.
11. Кириченко О. М., Раківненко В. П. Опір матеріалів. Харків: Акад. ВВ МВС України, 2013. С. 382.

Стаття надійшла до редакції 10.11.2019 р.

УДК 629.014

О. Ю. Шабалин, А. Н. Кириченко, В. П. Ракивненко, В. А. Сало, Л. А. Гребеник

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧНОЙ ПРОЧНОСТИ ЦИСТЕРНЫ С ЖИДКОСТЬЮ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ АВТОЗАПРАВЩИКА

В статье представлено исследование повышения динамической прочности цистерны с жидкостью при неравномерном движении автозаправщика (разгон или торможение) путем разгрузки узла соединения корпуса цистерны с днищем распорно-стыковочным шпангоутом.

К л ю ч е в ы е с л о в а: цистерна автозаправщика, распорно-стыковочный шпангоут, напряженно-деформированное состояние, сферическая упругая оболочка, условие прочности.

UDC 629.014

O. Shabalin, O. Kirichenko, V. Rakivnenko, V. Salo, L. Grebenik

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC STRENGTH OF A TANK WITH A FLUID UNDER NON-UNIFORM MOTION OF A REFUELER

The article presents the results of research on increasing the dynamic strength of a tank with a fluid in the uneven motion of the refueler (in case of acceleration or braking) by unloading the node of the tank shell with the bottom of the main frame.

One of the tasks of energy saving was and is the rapid and trouble-free transportation of petroleum products to the consumer. Means of delivery are different, but it is proved that transporting up to 200 km by road tankers is more appropriate than rail, especially when it comes to providing fuel for military units in their combat operations. Hence there is the urgency of further improvement of the constructive and operational characteristics of tank-vehicles, ensuring their high reliability and compliance with environmental safety requirements.

During the uneven movement of a refueler there is a fluctuation in the fluid, which results to the interaction of the shell and the bottom of the tank, in addition to the excess pressure of the saturated vapor of the component and the hydrodynamic pressure, and also to the force of the hydrodynamic impact of the moving part of the liquid, because of that the total pressure of which may exceed the limits of the strength of the construction material. In this case, damage may occur not only to internal diaphragms - dampers and drainage, but also to the most dangerous - the separation of the bottom of the tank shell. The theory shows and practice confirms that the most vulnerable in extreme loading of the tank is a node of connection of the shell with the bottom, especially if the flat bottom is welded. With a dynamic impact of the moving part of the liquid, which makes up about 10% of its mass, the bottom will lose its stability, or with great probability will be torn off. Therefore, in order to unload the connection node, it is suggested to place a spacer between the casing and the bottom, a docking shaft that receives a significant portion of the load, and instead of a flat one, apply a bottom in the form of a segment of a sphere that will only work on tension.

Key words: refueling tank, strong frame, stress-strained state, spherical elastic shell, strength condition.

Шабалин Олег Юр'євич – кандидат військових наук, доцент, заступник начальника Національної академії Національної гвардії України з озброєння та техніки – начальник відділу технічного забезпечення Національної академії Національної гвардії України.

<http://orcid.org/0000-0003-3473-1648>

Кириченко Олександр Миколайович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
<http://orcid.org/0000-0001-9136-7593>

Раківненко Валерія Павлівна – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
<http://orcid.org/0000-0002-6136-6191>

Сало Валентин Андрійович – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
<http://orcid.org/0000-0003-2533-0949>

Гребеник Лариса Анатоліївна – доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.
<http://orcid.org/0000-0002-5962-7639>



О. В. Тітаренко



О. І. Шаповалов



Н. В. Зубкова



С. О. Новак

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ФРЕЗЕРУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЧУТЛИВИХ ЕЛЕМЕНТІВ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ

Наведено результати теплофізичних досліджень процесу торцевого фрезерування плоских поверхонь полістиролу для сцинтиляційних елементів дозиметрів. За допомогою термографічних даних встановлено, що збільшення глибини різання не тільки підвищує температуру в зоні різання, а й спричинює нерівномірність розподілу тепла. Якість сформованого поверхневого шару оцінено за теплофізичними характеристиками: ентальпією, температурою склування та питомою теплоємністю.

К л ю ч о в і с л о в а: термопластичні полімерні матеріали, полістирол, торцеве фрезерування, температурне поле, розподіл тепла, температура склування, поверхня різання, ентальпія, внутрішній енергетичний стан, якість поверхні, шорсткість поверхні.

Постановка проблеми. Україна є державою, яка має потужний потенціал ядерної енергетики. Станом на кінець 2018 року на її території функціонувало 15 об'єктів іонізуючого випромінювання під охороною НГУ [1]. Особовий склад підрозділів охорони має постійно здійснювати радіаційну розвідку та контроль і у разі виникнення нештатних ситуацій швидко ідентифікувати джерела небезпечного випромінювання. Технічне забезпечення підрозділів складається з різних типів дозиметричної апаратури, які дозволяють не тільки належно виконувати службово-бойові завдання, а й надійно захистити особовий склад.

Одними з найбільш універсальних засобів радіаційного контролю є дозиметричні прилади, в яких як активну речовину використовують чутливі до випромінювань сцинтиляційні полімерні матеріали. Потрапляючи в зону радіації, такі матеріали випромінюють короточасні світлові спалахи завдяки сполукам, що поєднують високу флуоресцентну квантову ефективність, короткий флуоресцентний час життя та добру розчинність. Як правило, кількість випущених сцинтилятором фотонів пропорційна поглинутій енергії, що дозволяє одержувати енергетичні спектри випромінювання.

Довговічність та надійність роботи сцинтиляційних матеріалів визначається не тільки складом, а й станом поверхневого шару, який формується на всіх етапах виробництва. Саме через наявність внутрішніх напружень, розірваних ланцюгів у поверхневих шарах полімеру значно зменшується чутливість матеріалу до випромінювань та пришвидшуються процеси його старіння. Оскільки будь-який вплив фізичного або механічного характеру змінює, перш за все, внутрішній енергетичний стан речовини, принципово важливим є контроль стабільності стану та виявлення найбільш вагомих технологічних факторів впливу. На жаль під час формування та контролю якості виробу оцінювання його енергетичної сталості лишається поза увагою, більше орієнтуються на низький рівень шорсткості та оптичну прозорість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Особливості зміни властивостей полімерних термопластичних матеріалів під впливом зовнішніх чинників детально розглянуто у працях [2, 3]. Зокрема зазначається, що такі полімерні матеріали під впливом термомеханічного навантаження поведуть себе як в'язкопружні речовини, деформація яких складається з трьох складових: пружної, високоеластичної та деформації в'язкої течії. Важливою експлуатаційною характеристикою

матеріалів є температура склування $T_{ст}$, що визначає межу між склоподібним та високоеластичним фізичними станами полімеру. Через релаксаційний характер деформації $T_{ст}$ не є сталою, а безпосередньо залежить від характеру сили, що діє. Найбільш суттєві зміни $T_{ст}$ та відповідно властивостей матеріалу спостерігаються у поверхневих шарах. Ситуація ускладнюється ще й тим, що внаслідок “двоспрямованого” руху макромолекул їх змінені та деструктовані фрагменти переміщуються в об’єм матеріалу, а недеструктовані – у верхні шари. Таким чином, відбувається поступова руйнація полімеру, що змушує ретельно контролювати ступінь впливу зовнішніх чинників.

За результатами експериментальних та теоретичних досліджень особливостей поширення температурних полів у процесі фрезерування були дані рекомендації щодо вибору матеріалу ріжучого інструмента, його геометрії та діапазону швидкостей різання, за яких глибина проникнення тепла в полімерну заготовку не перевищує припуск на наступний етап обробки різанням [4]. При цьому важливим залишається питання впливу термомеханічного навантаження на внутрішній енергетичний стан поверхневого шару, зокрема на $T_{ст}$, що визначає граничні значення подальшого температурного впливу.

Метою статті є оприлюднення результатів наукових досліджень з встановлення закономірностей впливу температури, що виникає на поверхні різання, на зміну внутрішнього енергетичного стану полімерного матеріалу для визначення раціональних технологічних умов обробки чутливих елементів дозиметрів.

Виклад основного матеріалу. Згідно зі встановленими нормативами на матеріали для радіаційного контролю [5, 6] та внутрішніми вимогами науково-виробничого підприємства Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України [7] для дослідження якості вибрані найбільш поширені детектори на основі полістиролу (ПС) марки UPS-923A.

Попередньо зразки оброблено фрезою, діаметр якої 120 мм, з однією змінною пластиною із дрібнозернистого твердосплавного матеріалу ВК6-М (виробник концерн CERATIZIT, Австрія) з параметрами: $\gamma = 22^\circ$, $\alpha = 15^\circ$, $\varphi = 90^\circ$, $\varphi_1 = 2^\circ$, $r = 0,4$ мм та ріжучою кромкою $l_1 = 2$ мм. Досліджений діапазон параметрів режиму різання складає: швидкість $v = 30$ м/хв; подача $S = 0,05$ мм/об; глибина різання $t = 0,1; 0,3; 0,5$ мм.

Для експериментального дослідження теплових явищ у полімерних матеріалах під час фрезерування використано термографічний метод реєстрації інфрачервоного випромінювання теплової енергії за допомогою цифрової термографічної камери ThermoVision A20-M (FLIR) та програмного пакета ThermoCAM Researcher 2.8. Термографічний метод дав можливість дослідити оброблену поверхню, зокрема динаміку розподілу тепла та величину максимальної і середньої температур на вході та виході інструмента із зони контакту (рис. 1).

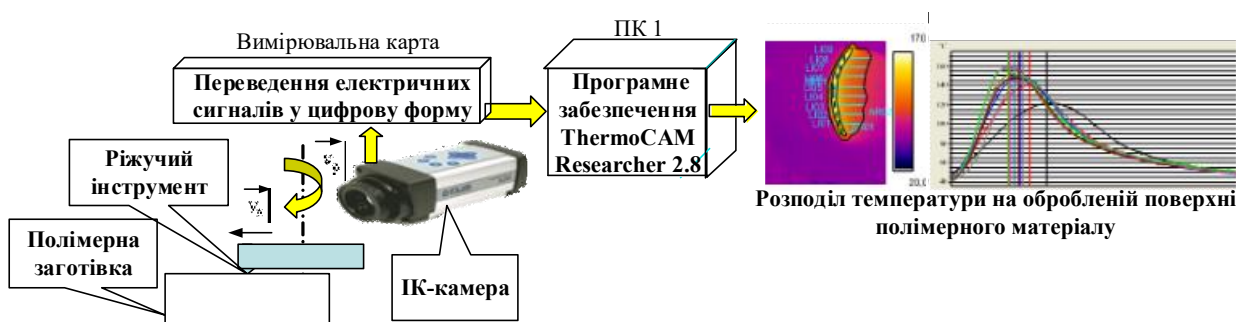


Рис. 1. Схема реєстрації та перетворення теплових сигналів під час фрезерування полімерного матеріалу

Слід зазначити, що всі дані термографічних досліджень аналізували по всій довжині зони різання: на вході ріжучого інструмента – $\Theta_{вх}$; на його виході – $\Theta_{вих}$; максимальні дані з урахуванням температури стружки – $\Theta_{пов}$. Проте для оцінювання впливу параметрів режиму різання враховувалися саме максимальні значення температури, що спостерігалися в місцях виходу інструмента із зони контакту, де спрацьовує ефект накопичення тепла.

Особливості теплового руху в структурі полімеру та термодинамічні характеристики його релаксаційних переходів досліджено методом диференціальної скануючої калориметрії (ДСК) на приладі Netzsch DSC 204 F1 Phoenix®. Згідно з методикою ДСК [8, 9, 10] у разі безперервного нагрівання (10 К/хв) визначається різниця між температурою зразка полімеру та термічно інертної порівняльної речовини. Після чого будується термограма, на якій відображається кількість тепла, що виділяється або поглинається полімерним зразком при зміні його фізичного стану до моменту повного розкладання. Полімерні зразки товщиною 1 мм для дослідження зрізалися з поверхонь після обробки фрезеруванням за допомогою мікротому Reichert-Jung Microtome МТ6. Еталонами, відносно яких оцінювалося відхилення енергетичного стану від стабільного, були зразки, оброблені природним алмазом з гарантованим мінімальним теплофізичним впливом на поверхню.

Обробка полімерних матеріалів у області низьких швидкостей $v = 30...50$ м/хв характеризується невеликим ступенем деформації поверхневого шару, основна частина якої триває за пружним зворотнім механізмом [11]. Отримані термографічні дані з поверхні різання ПС свідчать про рівномірний розподіл тепла вздовж всієї зони контакту з чітко визначеними межами (рис. 2, а). Переважна більшість поверхні зони різання прогривається до 25...35 °С (рис. 2, б), відповідно полімерний матеріал знаходиться в межах склоподібного стану. Температурне поле на поверхні різання та обробленій поверхні відрізняється вузькою локалізацією навколо зони контакту з інструментом. Стружку, що утворюється в процесі різання, можливо повністю віднести до безперервного зливного типу.

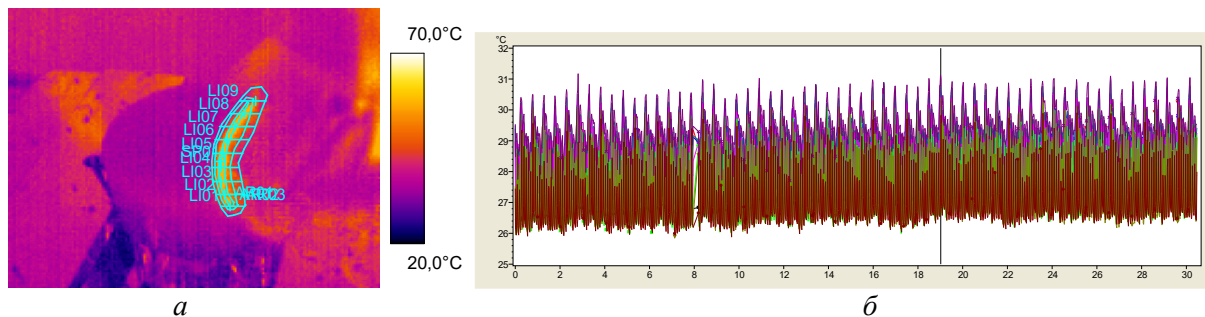


Рис. 2. Термографічна картина розподілу температурних полів у випадку обробки ПС з $v = 30$ м/хв, $S = 0,05$ мм/об, $t = 0,1$ мм:
а – межі поширення та аналізу температурних полів;
б – зміна температури на поверхні різання залежно від часу обробки

Збільшення глибини різання призводить до поступового збільшення розігріву поверхні (рис. 3). Так, при $t = 0,1$ мм в межах 25...30 °С знаходиться 65,3 % поверхні різання, при $t = 0,3$ мм до цієї температури розігривається вже 55,7 %, а в окремих ділянках (до 2 %) температура може сягати 60...70 °С. Збільшення глибини різання до 0,5 мм супроводжується ще потужнішим розігрівом поверхні, внаслідок чого вже 35,7 % поверхні різання знаходиться в межах 35...40 °С, а 11,8 % її поверхні розігривається до 60...70 °С. Відповідно збільшення розмірів перерізу зрізу (ширини) призводить до зростання сил різання на відокремлення стружки і як наслідок – до підвищення температури. При цьому з кожним збільшенням глибини різання на 0,2 мм зменшується рівномірність розподілу температури по поверхні різання.

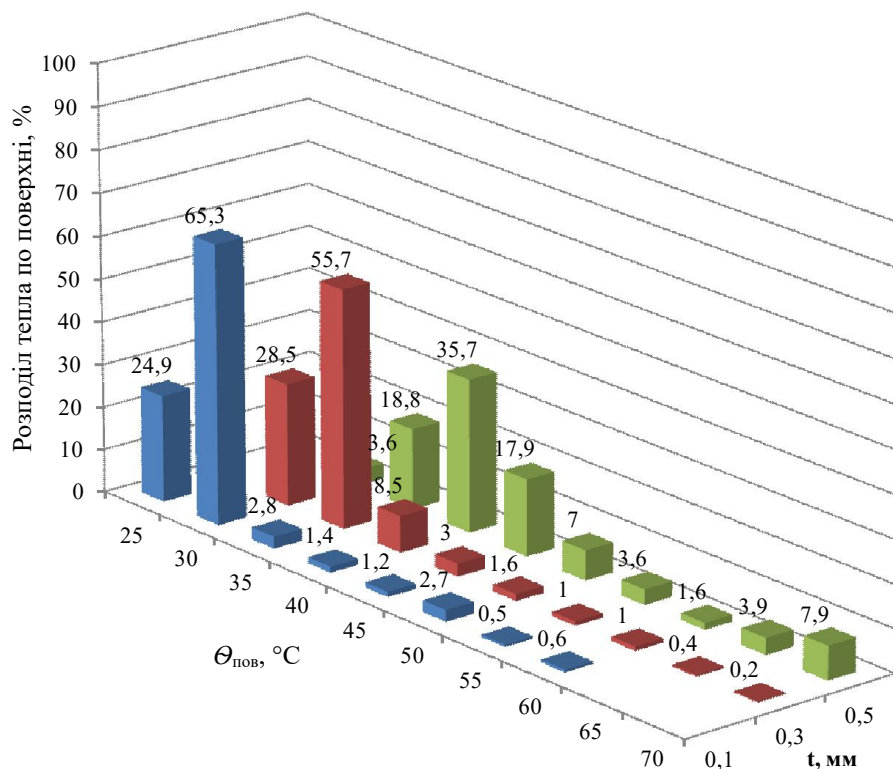


Рис. 3. Розподіл тепла по обробленій поверхні ПС залежно від глибини різання ($v = 30$ м/хв, $S = 0,05$ мм/об)

Аналіз термограм після досліджень методом ДСК зразків з оброблених поверхонь, взятих з трьох різних ділянок, дозволив зробити такі узагальнення (рис. 4).

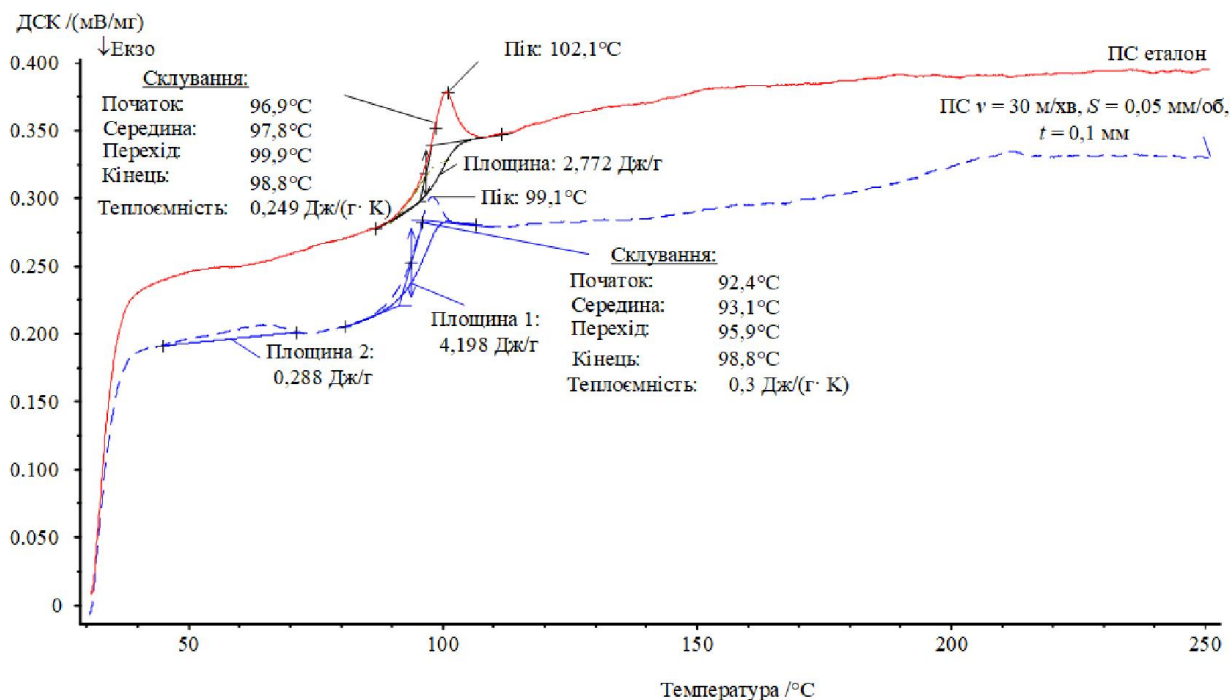


Рис. 4. Термограми еталонного та обробленого зразків ПС з характеристиками фазових переходів

Температурна залежність питомої теплоємності еталонних зразків ПС повністю відповідає практично недеформованому стану полімеру, про що свідчить наявність тільки одного екзотермічного піка. Вискоеластичний стан ПС, з якого починається його розм'якшення, припадає на 96,9...111,8 °С, відповідно $T_{ct} = 99,9$ °С, ентальпія переходу до текучого стану складає $\Delta H_1 = 2,772$ Дж/г. На графіку (рис. 4) для зразків після обробки з $v = 30$ м/хв, $S = 0,05$ мм/об, $t = 0,1$ мм спостерігаємо зміщення екзотермічного піка в бік меншої температури, отже, і відповідне зниження $T_{ct} = 95,9$ °С та збільшення ентальпії переходу $\Delta H_1 = 4,198$ Дж/г. Крім того, спостерігається ще один екзотермічний пік з ентальпією $\Delta H_2 = 0,288$ Дж/г. Саме його поява свідчить про наявність в структурі внутрішніх перебудов типу площин зсуву, в яких акумулюється енергія деформування у разі обробки різанням [4]. Сумарне збільшення ентальпії обробленого зразка на 1,714 Дж/г характеризує зміщення балансу внутрішнього енергетичного стану в бік зростання. Отже, за несприятливих умов релаксація накопиченої енергії може супроводжуватися змінами, перш за все, оптичних властивостей полімеру, що матиме негативний вплив на довговічність функціонування виробу.

Результати аналізу термограм зразків ПС, оброблених з $t = 0,3$ мм та $t = 0,5$ мм, підтверджують тенденцію до зниження температури склування та збільшення значень ентальпії.

З огляду на те, що за встановленими показниками шорсткості поверхні всі отримані зразки відповідають вимогам попереднього етапу обробки фрезеруванням, стає зрозумілим доцільність оцінювання рівноважності енергетичного стану обробленого поверхневого шару. Саме ці дані визначають поріг температурного впливу наступного етапу обробки та вказують на можливі проблеми під час експлуатації виробу, особливо в умовах підвищеного радіаційного впливу. Відповідні раціональні технологічні умови попереднього етапу обробки з огляду на найменші зміни теплофізичних характеристик ПС становлять $v = 30$ м/хв, $S = 0,05$ мм/об, $t \leq 0,1$ мм.

Висновки

Обробка полімерних термопластичних матеріалів фрезеруванням відрізняється нерівномірним теплофізичним впливом ріжучого інструмента на оброблену поверхню. Оцінювати якість обробленої поверхні за таких умов тільки за параметрами шорсткості недостатньо, оскільки значна частина енергії деформування здатна накопичуватися у перебудовах структури і з часом релаксувати, змінюючи її фізико-механічні, оптичні та функціональні властивості. На прикладі обробки полістиролу з невеликою швидкістю та незначним термофізичним впливом на поверхневий шар показані суттєві зміни температури склування полімеру, що накладає певні обмеження на наступні етапи механічної обробки.

Перелік джерел посилання

1. Про затвердження переліку ядерних установок, ядерних матеріалів, радіоактивних відходів, інших джерел іонізуючого випромінювання державної власності, важливих державних об'єктів, що підлягають охороні Національною гвардією: Постанова Кабінету Міністрів України від 12.11.2014 р. № 628. *Офіційний вісник України*. 2014. № 95. С. 14.
2. Особенности структуры и свойств растворов, расплавов и твердых полимеров в ограниченных нанометровых объемах / А. Л. Волынский и др. *Успехи химии*. 2014. Т. 83, № 11. С. 1003–1026.
3. Волынский А. Л., Бакеев Н. Ф. Роль поверхностных явлений в структурно-механическом поведении твердых полимеров. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2014. С. 118–160.
4. Тітаренко О. В. Можливості експериментально-розрахункового підходу до пошуку раціональних умов обробки чутливих елементів дозиметрів. *Збірник наукових праць Національної академії Національної гвардії України*. Харків, 2017. Вип. 1. С. 103–109.
5. ГОСТ 26277-84. Пластмассы. Общие требования к изготовлению образцов способом механической обработки. Введ. 01.07.85. Москва: Изд-во стандартов, 1984. 11 с.
6. EN ISO 2818. Kunststoffe. Herstellung von Probekörpern durch mechanische Bearbeitung. Brüssel: CEN, 1997. 15 S.

7. Общемашиностроительные нормативы режимов резания, норм износа и расхода резцов, сверл и фрез при обработке неметаллических конструкционных материалов (пластмасс). Москва: НИИМаш, 1982. 144 с.
8. Годовский Ю. К. Теплофизические методы исследования полимеров. Москва: Химия, 1976. 212 с.
9. DIN EN ISO 11357-1. Plastics-Differential scanning calorimetry (DSC). Part 1. General principles. Geneva: ISO, 1997. 53 p.
10. Ehrenstein G., Riedel G., Trawiel P. Praxis der thermischen Analyse von Kunststoffen. Muenchen: Hanser, 2003. 397 S.
11. Kobayashi A. Machining of Plastics. NY.: McGraw-Hill Book Company, 1967. 175 P.

Стаття надійшла до редакції 26.11.2019 р.

УДК 621.923

О. В. Титаренко, А. И. Шаповалов, Н. В. Зубкова, С. А. Новак

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФРЕЗЕРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ РАДИАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Представлены результаты теплофизических исследований процесса торцевого фрезерования плоских поверхностей полистирола для сцинтилляционных элементов дозиметров. С помощью термографических данных установлено, что увеличение глубины резания не только повышает температуру в зоне резания, а и обуславливает неравномерность распределения тепла. Качество сформированного поверхностного слоя оценено по теплофизическим характеристикам: энтальпии, температуре стеклования и удельной теплоемкости.

К л ю ч е в ы е с л о в а: термопластические полимерные материалы, полистирол, торцевое фрезерование, температурное поле, распределение тепла, температура стеклования, поверхность резания, энтальпия, внутреннее энергетическое состояние, качество поверхности, шероховатость поверхности.

UDC 621.923

O. Titarenko, O. Shapovalov, N. Zubkova, S. Novak

STUDY OF THE EFFECT OF TECHNOLOGICAL MILLING CONDITIONS ON THE QUALITY OF POLYMERIC MATERIALS FOR SENSITIVE ELEMENTS OF RADIATION CONTROL

The safety and reliability of the protection of ionizing radiation objects by the special units of the National Guard of Ukraine is determined by the quality of the devices for dosimetric control. Sensitive elements of modern dosimeters are made of thermoplastic polymers by mechanical milling. The properties of the polymer surface layer can be significantly changed during the process of thermophysical interaction with the cutting tool. As a result, the sensitive materials are losing the functional properties farther.

The research work is devoted to determining the influence of technological conditions of production (geometry and material of the cutting tool, the parameters of the cutting mode) on the thermophysical state of the milled polystyrene (PS) surface layer. The presented results of thermographic studies of the milling process showed the increase in the maximum temperature at the cutting surface (from 55 °C till 70 °C) and changing the heterogeneity of the heat distribution (from 65,3% till 35,7%) with the growing of the cutting depth from 0,1 mm to 0,5 mm. The evaluation of quality of the formed surface layer was performed by thermodynamic characteristics (enthalpy, glass transition temperature) using method of differential scanning

calorimetry. The detected changes in the properties of the PS testify the accumulation of deformation energy in the structure of the surface layer material. Under the conditions of satisfactory surface roughness, in all investigated modes, the process of relaxation of internal stresses in time and under the action of radiation is unpredictable. The most energetically stable condition of the PS is ensured with using a carbide cutting tool and cutting mode parameters $v = 30$ m/min, $S = 0,05$ mm/rev, $t \leq 0,1$ mm. The established features of the PS should be considered by determining the technological parameters of the milling processes and evaluation of the quality of produced sensitive elements of dosimeters.

К e y w o r d s: thermoplastic polymer materials, polystyrene, end milling, temperature field, heat distribution, glassing temperature, cutting surface, quality, entalpia, internal energy state, roughness of the surface.

Тігаренко Оксана Валеріївна – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0001-6811-7537](http://orcid.org/0000-0001-6811-7537)

Шаповалов Олександр Ігоревич – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0001-8518-4336](http://orcid.org/0000-0001-8518-4336)

Зубкова Ніна Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

[http:// orcid.org/ 0000-0001-8200-7924](http://orcid.org/0000-0001-8200-7924)

Новак Станіслав Олександрович – курсант Національної академії Національної гвардії України.

[http:// orcid.org/ 0000-0002-6362-1862](http://orcid.org/0000-0002-6362-1862)



Г. В. Іванець



С. А. Горєлишев



М. Г. Іванець

СТАТИСТИЧНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЗАГРОЗ ТЕРИТОРІЯМ ТА НАСЕЛЕННЮ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ ДЕРЖАВИ

У статті на основі середньостатистичної щорічної кількості надзвичайних ситуацій розроблено статистичний метод оцінювання стану загроз територіям та населенню адміністративно-територіальних одиниць держави з урахуванням їх площі та чисельності населення. Метод дозволяє класифікувати адміністративно-територіальні одиниці (регіони) держави за відповідними рівнями стану загроз території та населенню регіону: відносно оптимальний, відносно припустимий та відносно неприйнятний.

К л ю ч о в і с л о в а: надзвичайна ситуація, адміністративно-територіальна одиниця, комплексний показник, рівні стану загроз.

Постановка проблеми. Останнім часом у всьому світі спостерігається стійка тенденція збільшення протиріч між людиною та оточуючим природним середовищем. Все це призводить до виникнення надзвичайних ситуацій (НС) і їх складових за видами, рівнями і регіональним розподілом, наслідки яких негативно впливають на економіку країн [1, 2]. Наприклад, тільки за останні п'ять років в Україні виникло 795 НС, внаслідок яких загинуло 1266 та постраждало 5213 людей, завдано матеріальних збитків державі на 1599 млн грн [3–5].

Попередження надзвичайних ситуацій – це сукупність заходів законотворчого, економічного, адміністративного, технічного та іншого характеру, спрямованих на виявлення та вивчення причин виникнення НС, прогнозування їх розвитку, розробку і реалізацію заходів, які забезпечують їх усунення або нейтралізацію [6, 7].

Особливого значення щодо попередження та реагування на НС набуває інформація, яка містить відомості про прогнозовані й такі, що вже виникли, НС природного й техногенного характеру та їх наслідки, а також відомості про потенційні можливості підрозділів цивільного захисту держави з ліквідації можливих наслідків НС [8].

Захист населення та території від НС є однією з найважливіших задач цивільного захисту держави. Забезпечення безпеки у НС потребує надійного функціонування системи реагування на НС природного, техногенного та соціального характеру, адекватної рівням і характеру загроз [9]. Важливим аспектом цієї діяльності є завчасне оцінювання та прогнозування стану загроз територіям та населенню регіонів країни, оскільки сили цивільного захисту розподілені на території держави в межах адміністративно-територіальних одиниць (областей, районів, міст тощо). Кожній адміністративно-територіальній одиниці (АТРО) властиві свої рівні природних, техногенних та соціальних ризиків, що суттєво впливає на склад сил і засобів для адекватного реагування на НС природного, техногенного та соціального характеру.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існують окремі підходи до кількісного оцінювання рівня загроз техногенного та природного характеру територіям і населенню регіонів держави.

Так, у праці [10] розроблені показники оцінювання стану загроз території та зроблена спроба її розподілу за декількома рівнями загроз окремо для НС техногенного та природного характеру.

Розглянуті у праці [11] методи оцінювання рівня небезпеки життєдіяльності в умовах прояву НС не враховують причини виникнення факторів небезпеки та особливості прояву нелінійних взаємозв'язків між ними.

У статті [12] наведені спроби побудови і використання інтегральних показників оцінки та аналізу рівня безпеки життєдіяльності потенційно небезпечних об'єктів території за умов базового кількісного розподілу, що розкривають причинно-наслідкові зв'язки управління людськими, матеріальними, інформаційними ресурсами для забезпечення досягнення цілей проекту регіонального розвитку.

Наданий у праці [13] аналіз методів оцінювання рівня безпеки життєдіяльності в умовах прояву НС не враховує причини виникнення факторів безпеки та особливості прояву нелінійних взаємозв'язків між ними.

У статтях [14, 15] як комплексний показник безпеки території держави в умовах прояву НС природного та техногенного характеру взято вектор середньої за період моніторингу інтенсивності суми НС техногенного та природного характерів у i -й області країни, але в такому випадку не враховується інтенсивність НС соціального характеру і, головне, – площа території АТрО та чисельність населення, яке проживає на ній.

Таким чином, існуючі методи оцінювання рівня загроз життєдіяльності в умовах прояву НС не повною мірою враховують причини виникнення факторів безпеки та існування взаємозв'язків між ними, що призводять до розвитку НС, які негативно впливають на умови нормального функціонування регіонів держави. Крім того, слід врахувати, що рівні загроз внаслідок НС в АТрО держави з різною площею території і кількістю проживаючого населення будуть мати зовсім інший характер та суттєво відрізнятися один від одного навіть за однакової інтенсивності НС.

Мета та задачі дослідження. Метою статті є розроблення статистичного методу оцінювання стану загроз територіям та населенню АТрО держави з урахуванням їх площ та чисельності населення. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- вибрати показник оцінювання стану загроз територіям та населенню АТрО держави;
- розробити метод та модель оцінювання стану загроз територіям та населенню АТрО держави;
- провести експериментальні дослідження можливості застосування даного методу.

Виклад основного матеріалу. Для формування комплексного показника оцінювання стану загроз територіям та населенню АТрО держави будемо виходити з того, що ступінь безпеки кожного регіону визначається середньостатистичною щорічною кількістю НС, а наслідки від них залежать як від кількості НС, так і від площі території та чисельності населення, яке проживає на ній [16].

Комплексний показник, що характеризує стан загроз територіям та населенню АТрО держави з урахуванням чисельності населення та площ їх територій визначається таким чином:

$$Z_i = P_{\text{насел.}}^{\text{АТрО}} \cdot \overline{n}_{i \text{ АТрО}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{насел.}}^{\text{АТрО}} = \frac{N_{\text{насел}}^{\text{АТрО}}}{S_{\text{терит}}^{\text{АТрО}}}$ – питома вага населення i -ї АТрО держави на одиницю площі її території; $N_{\text{насел}}^{\text{АТрО}}$ – загальна кількість населення i -ї АТрО держави; $S_{\text{терит}}^{\text{АТрО}}$ – загальна площа території i -ї АТрО держави; $\overline{n}_{i \text{ АТрО}}$ – середньостатистична щорічна кількість НС в i -й АТрО держави.

Узагальнений комплексний показник, що характеризує стан загроз території та населення на одну АТрО держави, має вигляд

$$Z_{\text{держ}} = P_{\text{насел.}}^{\text{держ}} \cdot \overline{n}_{\text{держ}}, \quad (2)$$

де $P_{\text{насел}}^{\text{держ}} = \frac{N_{\text{насел}}^{\text{держ}}}{S_{\text{терит}}^{\text{держ}}}$ – питома вага населення держави на одиницю площі її території; $N_{\text{насел}}^{\text{держ}}$ – загальна кількість населення держави; $S_{\text{терит}}^{\text{держ}}$ – загальна площа території держави; $\bar{n}_{\text{держ}}$ – середньостатистична щорічна кількість НС на одну АТрО держави.

Нормування Z_i відносно $Z_{\text{держ}}$ дозволяє ввести коефіцієнт щорічної інтенсивності НС АТрО держави

$$k_{z_i} = \frac{Z_i}{Z_{\text{держ}}} \quad (3)$$

Порівняльне оцінювання стану загроз територіям та населенню АТрО держави здійснюється шляхом зіставлення Z_i та $Z_{\text{держ}}$.

Рівень стану загроз територіям та населенню АТрО держави вважається відносно оптимальним, якщо відповідні значення Z_i більше ніж на третину нижче за значення $Z_{\text{держ}}$ у країні.

Рівень стану загроз територіям та населенню АТрО держави вважається відносно припустимим, якщо відповідні значення Z_i відрізняються від значення $Z_{\text{держ}}$ не більше ніж на третину.

Рівень стану загроз територіям та населенню АТрО держави вважається відносно неприйнятним, якщо відповідні значення Z_i перевищують значення $Z_{\text{держ}}$ в країні більше ніж на третину.

З урахуванням цього критерії визначення меж рівнів стану загроз територіям та населенню АТрО держави будуть такі:

– відносно оптимальний рівень загроз територіям та населенню АТрО держави

$$k_{z_i} < \frac{2}{3}; \quad (4)$$

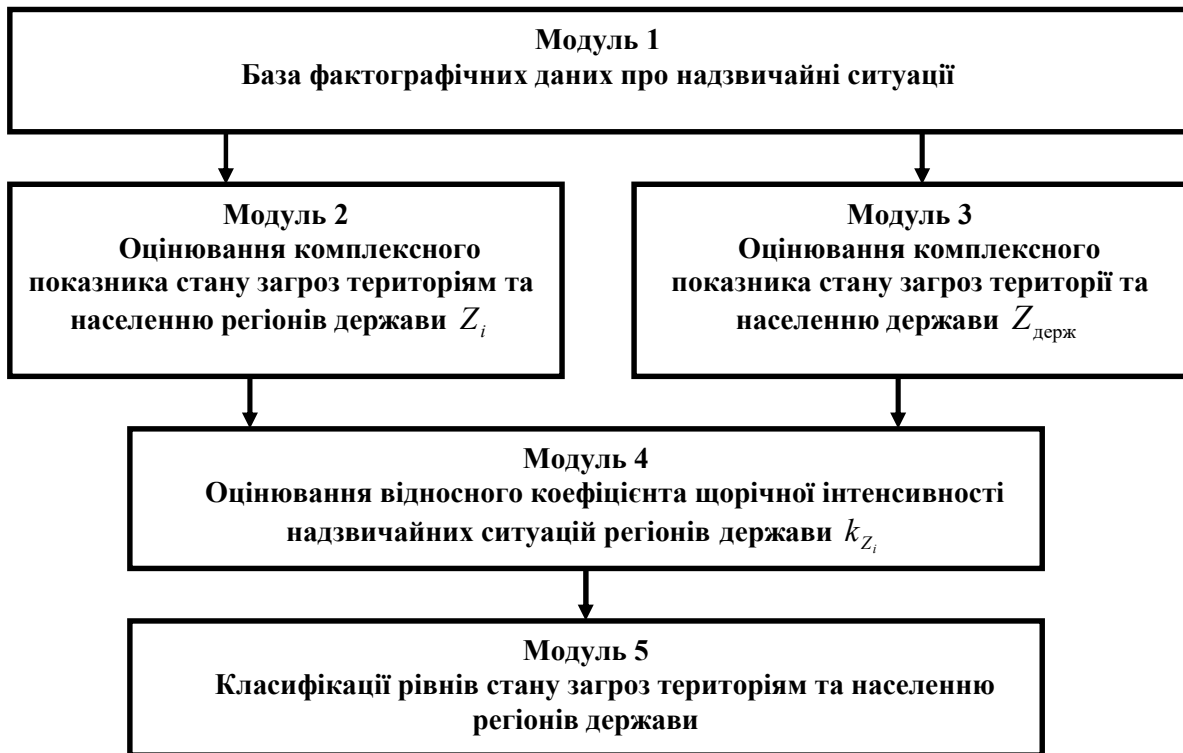
– відносно припустимий рівень загроз територіям та населенню АТрО держави:

$$\frac{2}{3} \leq k_{z_i} \leq \frac{4}{3}; \quad (5)$$

– неприйнятний рівень загроз територіям та населенню АТрО держави

$$k_{z_i} > \frac{4}{3}. \quad (6)$$

На основі запропонованого методу розроблена модель оцінювання стану загроз територіям та населенню регіонів держави. Структура моделі наведена на рисунку. Вона включає об'єднані в єдине ціле логічно та інформаційно зв'язані між собою за призначенням, вирішувемими задачами, вхідними і вихідними даними модулі.



Модель оцінювання стану загроз територіям та населенню регіонів держави

Модуль 1 є базою фактографічних даних про НС природного, техногенного та соціального характеру як у державі в цілому, так і в її регіонах. Ці дані містять узагальнену фактографічну інформацію про НС за деякий період моніторингу.

Модуль 2 призначений для оцінювання комплексного показника стану загроз територіям та населенню регіонів держави Z_i відповідно до виразу (1). Дані для проведення розрахунків надходять від модуля 1.

Модуль 3 призначений для оцінювання комплексного показника стану загроз територій та населенню на одну АТРО держави $Z_{\text{держ}}$ відповідно до виразу (2). Дані для проведення розрахунків надходять від модуля 1.

Модуль 4 призначений для оцінювання відносного коефіцієнта щорічної інтенсивності НС регіонів держави k_{z_i} відповідно до виразу (3). Дані для проведення розрахунків надходять від модулів 2 та 3.

Модуль 5 призначений для класифікації рівнів стану загроз територіям та населенню регіонів держави відповідно до виразів (4) – (6) на основі даних, які надходять від модуля 4.

Згідно з моделлю на основі фактографічної інформації проведені розрахунки щодо класифікації за рівнями стану загроз територіям та населенню регіонів України. Вхідну емпіричну основу дослідження складають фактографічні дані, наведені в офіційних виданнях про стан техногенної та природної безпеки в Україні [3] щодо кількості НС техногенного, природного та соціального характеру по областях України. Результати досліджень наведені в таблиці.

Класифікація за рівнями стану загроз територіям регіонів України

Рівень стану загроз територіям та населенню регіонів	Регіони
Відносно оптимальний	Волинська, Житомирська, Кіровоградська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Херсонська, Хмельницька, Черкаська, Чернігівська області
Відносно припустимий	Вінницька, Закарпатська, Запорізька, Івано-Франківська, Київська, Одеська, Чернівецька, Харківська області
Неприйнятний	АРК, Донецька, Луганська, Дніпропетровська, Львівська області

Таким чином, в результаті досліджень встановлено, що неприйнятний рівень загроз території та населенню характерний для АРК, Донецької, Луганської, Дніпропетровської та Львівської областей. Це свідчить про низьку ефективність заходів з попередження НС у цих регіонах країни.

Висновки

1. Обґрунтовано комплексний показник оцінювання стану загроз територіям та населенню АТРО держави, який враховує не тільки середньостатистичну щорічну кількість НС, а й площі територій та чисельність населення, яке проживає на них.

2. Розроблено статистичний метод та модель оцінювання стану загроз територіям та населенню АТРО держави із урахуванням площі їх території та чисельності населення, які дозволяють класифікувати регіони держави за відповідними рівнями стану загроз: відносно оптимальний, відносно припустимий та відносно неприйнятний.

3. У результаті експериментальних досліджень на основі статистичних даних про НС в Україні встановлено, що неприйнятний рівень загроз території та населенню характерний для АРК, Донецької, Луганської, Дніпропетровської та Львівської областей. Це свідчить про низьку ефективність заходів з попередження НС у цих регіонах.

Перелік джерел посилання

1. Guskova N. D., Neretina E. A. Threats of natural character, factors affecting sustainable development of territories and their prevention. *Journal of the Geographical Institute Jovan Cvijic, SASA*. 2013. Vol.63, Issue 3. P. 227–237. doi:<https://doi.org/10.2298/iigil.303227g>.

2. Development of combined method for predicting the process of the occurrence of emergencies of natural character / Ivanets H. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 5, Issue 10(95). P. 48–55. doi:<https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.143045>.

3. Звіт про основні результати діяльності Державної служби України з надзвичайних ситуацій у 2017 році. URL: [http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017\(KMU\).pdf](http://www.dsns.gov.ua/files/2018/1/26/Zvit%202017(KMU).pdf) (дата звернення: 08.08.2018).

4. Іванець Г. В. Аналіз стану техногенної, природної та соціальної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України на основі даних моніторингу. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*. Харків: ХУПС, 2016. Вип. 3 (48). С. 142–145.

5. Numerical simulation of the creation of a fire fighting barrier using an explosion of a combustible charge / D. Dubinin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. 6(10 (90)). P. 11–16. doi: 10.15587/1729-4061.2017.114504.

6. Nivolianitou Z., Synodinou B. A. Towards emergency management of natural disasters and critical accidents: The Greek experience. *Journal of Environmental Management*, 2011. Vol. 92, Issue 10. P. 2657–2665. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.003>.

7. Голован Ю. В., Козырь Т. В. Защита населения в чрезвычайных ситуациях. Организационные основы. Учебно-методический комплекс. Владивосток: Дальневосточный федеральный ун-т, 2016. 220 с.

8. Neisser F., Runkel S. The future is now! Extrapolated riskscales, anticipatory action and the management of potential emergencies. *Geoforum*. 2017, Vol. 82. P. 170–179. doi: <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.04.008>.

9. System approach for readiness assessment units of civil defense to actions at emergency situations / V. V. Tiutiunyk et al. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. Issue 1. P. 99–105. doi: <https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/7>.

10. Биченок М. М., Трофимчук О. М. Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні. Київ: РНБОУ, 2002. 153 с.

11. Акимов В. А., Новиков В. Д., Радаев Н. Н. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски. Москва: Деловой экспресс, 2001. 304 с.

12. Комплексная оценка уровня риска опасного объекта / В. Д. Кондратьев и др. *Системы управления и информационных технологий*. 2004. № 3(15). С. 53 – 57.

13. Оцінка обстановки у надзвичайних ситуаціях / В. Є. Гончарук та ін. Львів: Нац. ун-т “Львів політехніка”, 2004. 183 с.

14. Комплексні показники оцінювання стану природно-техногенної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України / В. А. Андронов та ін. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: Нац. ун-т цивільного захисту України, 2010. Вип. 12. С. 9 – 20.

15. Тютюник В. В. Оцінка відносної інтенсивності меж надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру в регіонах України. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. Харків: Нац. ун-т цивільного захисту України, 2015. Вип. 21. С. 112 – 120.

16. Іванець Григорій, Горєлишев Станіслав. Оценка уровня техногенно-природно-социальной опасности регионов государства на основе метода векторно-статистического анализа с учетом площади их территории и количества населения. *Власть и общество (История, Теория, Практика)*. Тбилиси, Грузия: Ассоциация открытой дипломатии, 2016. № 3(39). С. 162–174.

Стаття надійшла до редакції 09.09.2019 р.

УДК 614.8

Г. В. Іванець, С. А. Горєлишев, М. Г. Іванець

СТАТИСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ УГРОЗ ТЕРРИТОРИЯМ И НАСЕЛЕНИЮ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ ГОСУДАРСТВА

В статье на основе среднестатистического ежегодного количества чрезвычайных ситуаций разработан статистический метод оценивания состояния угроз территориям и населению административно-территориальных единиц государства с учетом их площади и количества населения. Метод позволяет классифицировать административно-территориальные единицы (регионы) государства за соответствующими уровнями состояния угроз территории и населению региона: относительно оптимальный, относительно допустимый и относительно неприемлемый.

К л ю ч е в ы е с л о в а: чрезвычайная ситуация, административно-территориальная единица, комплексный показатель, уровни состояния угроз.

UDC 614.8

Ivanets H., Horielyshev S., Ivanets M.

STATISTICAL METHOD FOR ASSESSING THE LEVEL OF THREATS TO THE TERRITORY AND POPULATION OF ADMINISTRATIVE TERRITORIAL UNITS OF THE STATE

Ensuring safety in emergency situations requires the reliable functioning of the response system to emergency of a natural, man-made and social nature, correspondent to the levels and nature of the threats. An important aspect of this activity is the timely assessment and prediction of the state of threats to the territory and population of the regions of the state, since the civil protection forces are distributed within the boundaries of the administrative-territorial units (regions, districts, cities, etc.). Each administrative-territorial unit has its own levels of natural, technological and social risks, which significantly affect the composition of forces and means for an adequate response to emergency situations of a different nature.

Based on the average annual number of emergency situations, the article developed a statistical method for assessing the state of threats to the territory and population of the administrative-territorial units of the state, taking into account the area of their territory and the number of people. The method allows you to classify the administrative-territorial units (regions) of the state according to the corresponding levels of threats to the territory and population of the region: relatively optimal, relatively acceptable and relatively unacceptable.

Based on the proposed method, a model has been developed for assessing the state of threats to the territory and population of the state. This model includes logical modules connected into a single whole and informationally interconnected by purpose: the base of factual data on emergency situations of natural, technogenic and social nature both in the state as a whole and in its regions, a module of assessing of an indicator of threats to the territory and population of regions of the state, a module for assessing the complex indicator, a module for assessing the relative coefficient of annual intensity, a module for classifying levels of state of threat.

As a result of experimental studies based on statistics on emergency situations in Ukraine, it was found that the highest level of threats was obtained for the Autonomous Republic of Crimea, Donetsk, Lugansk, Dnepropetrovsk and Lviv regions.

Key words: emergency situations, administrative-territorial units of the state, integrated indicator, level of threats.

Іванець Григорій Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри піротехнічної та спеціальної підготовки Національного університету цивільного захисту України.

<http://orcid.org/0000-0002-4906-5265>

Горєлишев Станіслав Анатолійович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України

<https://orcid.org/0000-0003-1689-0901>

Іванець Михайло Григорович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.

<http://orcid.org/0000-0002-3106-7633>



О. Ю. Іохов



В. Г. Малюк



І. І. Сидоренко

ВИЗНАЧЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ІМІТОСТІЙКОСТІ СИГНАЛІВ ПОПЕРЕДЖЕННЯ СИСТЕМ ОХОРОНИ НГУ НА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

Досліджено шляхи підвищення імітостійкості сигналів попередження систем охорони НГУ на об'єктах критичної інфраструктури. Виконано аналіз автентичності повідомлень з конструктивними елементами MAC кодів на основі сімей хеш-функцій. Зроблений висновок, що практичні схеми хешування повинні включати класи хеш-функцій з великим коефіцієнтом стиснення для даних можливо дуже великого об'єму. Наведені оцінки колізійної стійкості для схем універсального хешування за найкращими алгебраїчними кривими з великим числом точок і максимальними кривими.

К л ю ч о в і с л о в а: автентичності повідомлень, алгебраїчні криві, хеш-функції, універсальне хешування.

Постановка проблеми. Сучасні інформаційно-комунікаційні технології все більш широко використовуються для обслуговування об'єктів критичної інфраструктури, таких як атомні електростанції (АЕС). Разом із численними перевагами в експлуатаційній безпеці й ефективності розвиток інформаційних технологій обумовив виникнення нових загроз безпеці критичної інфраструктури, зокрема зростає кількість та потужність кібератак, мотивованих інтересами окремих держав, організацій та груп осіб.

Саме з цих причин відповідно до Стратегії кібербезпеки України [1] необхідно забезпечити захист інформації на об'єктах критичної інфраструктури. Важливим кроком на шляху створення сучасної системи кіберзахисту України стало прийняття Постанови Кабінету Міністрів України від 19 червня 2019 року № 518 “Про затвердження загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури” [2], якою визначені загальні вимоги до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури; встановлені обов'язкові заходи забезпечення захисту від кібератак та запобігання порушенню конфіденційності, цілісності та доступності інформаційних ресурсів.

Оскільки АЕС є важливими державними об'єктами, фізичний захист яких забезпечують військові частини Національної гвардії України (НГУ) [3], актуальною стає задача забезпечення конфіденційності та цілісності повідомлень, якими обмінюються частини і підрозділи НГУ через систему оповіщення потенційно небезпечних об'єктів [4]. Для вирішення цієї задачі використовується імітостійке кодування даних, яке дає можливість перевірити, чи були змінені дані третьою стороною. Ймовірність того, що дані були змінені, слугує мірою імітостійкості шифру.

Забезпечити імітостійкість систем передавання даних можливо на основі рішення взаємопов'язаної сукупності задач захисту інформації. Якість їх рішення значною мірою визначається криптографічними алгоритмами шифрування, цифрового підпису, хешування і формування кодів автентифікації, що використовуються.

Коди автентифікації повідомлень (MAC коди), відомі також як коди автентичності повідомлень, є криптографічними примітивами, що використовуються для забезпечення цілісності та автентичності даних. Можна виділити три основні підходи до побудови кодів автентифікації повідомлення [5]:

- 1) із застосуванням блокових шифрів;
- 2) на основі безключових хеш-функцій;
- 3) з використанням сім'ї універсальних хеш-функцій.

Для універсального хешування з великим коефіцієнтом стиснення перспективними є схеми з алгеброгеометричними кодами.

Вперше алгеброгеометричний підхід до побудови кодів був запропонований В. Д. Гоппою у 1981 році [6]. У працях [7–10] показано, що за алгеброгеометричними кривими можна будувати коди з дуже добрими асимптотичними властивостями. Доведено існування нескінченних серій q лінійних кодів, параметри яких (при q та $N \rightarrow \infty$) лежать вище межі Варшамова–Гільберта. Одними з кращих у цьому класі є коди з використанням кривих Ерміта.

Мета статті – дослідження методів побудови MAC кодів імітозахисту на основі алгеброгеометричних кривих, які забезпечують підвищення імітостійкості передавання даних.

Виклад основного матеріалу. За Принелем [11], MAC код – це функція відображення $h: K \times M \rightarrow R$, де $K = \{0,1\}^k$ – простір ключів; $M = \{0,1\}^*$ – простір повідомлень та $R = \{0,1\}^n$ – простір MAC значень для $k, n \geq 1$. Для заданих значень ключа $k \in K$ та повідомлення $X \in M$ функція виробляє MAC значення $Y \in R$.

Більшість MAC кодів – ітеративні конструкції. Проведемо дослідження методів побудови ітеративних MAC кодів.

Узагальнена модель ітеративного MAC коду для t підблоків використовує функцію стиснення f , попереднє розбиття даних X на підблоки X_i і зв'язок за зворотним входом проміжних результатів обчислень хеш-значень та визначається таким алгоритмом ітеративних обчислень:

$$\begin{aligned} H_0 &= IV_k, \\ H_i &= f_{k(H_{i-1}, X_i), 1 \leq i \leq t}, \\ h(k, X) &= g(H_t). \end{aligned} \quad (1)$$

Секретний ключ k може використовуватися у векторі ініціалізації IV , у функції стиснення f та у вихідному перетворенні g .

Конструктивними елементами MAC кодів на основі сімей хеш-функцій є хеш-функції, функції стиснення та ітеративні хеш-функції. Основні визначення і властивості хеш-функції наведено в поданні Рогавея [12].

Визначення 1 [12]. Хеш-функцією називається функція відображення $h: D \rightarrow R$, де область значень $D = \{0,1\}^*$, а $R = \{0,1\}^n$ для деякого $n \geq 1$.

Визначення 2 [12]. Функцією стиснення називається функція відображення $f: D \rightarrow R$, де $D = \{0,1\}^a \times \{0,1\}^b$ та $R = \{0,1\}^n$ для деяких $a, b, n \geq 1$ та $a + b \geq 1$.

Визначення 3 [12]. Ітеративною хеш-функцією від функції стиснення $f: (\{0,1\}^a \times \{0,1\}^b) \rightarrow \{0,1\}^n$ є хеш-функція $h: (\{0,1\}^b)^* \rightarrow \{0,1\}^n$, визначена $h(X_1 \dots X_t) = H_t$, де $H_i = f(H_{i-1}, X_i)$ при $1 \leq i \leq t$ ($H_0 = IV$).

Практичні схеми хешування повинні включати класи хеш-функцій з великим коефіцієнтом стиснення для даних, об'єм яких повинен мінятися в достатньо широкому діапазоні [15; 16].

З цією метою цікавими є такі сім'ї хешей:

- універсальні класи хеш-функцій;
- схеми універсального хешування на основі довгих алгеброгеометричних кодів;
- композиційні схеми універсального хешування.

Для вирішення задачі ефективного використання MAC кодів необхідно дослідити властивості існуючих схем універсального хешування.

Ідея універсального хешування була запропонована Картером і Вегманом у 1981 році для побудови колізійно стійких і високошвидкісних кодів автентифікації.

Універсальні сім'ї хеш-функцій є об'єктами польових структур, характеризуються прозорими комбінаторними властивостями і мають доказову секретність. Наведемо визначення універсальних класів і розглянемо властивості комбінаторних схем. Основні положення узяті з праць Рогавея [12], Картера і Вегмана [13] та Стінсона [14].

Визначення 4 [12, 14]. $(N; n, m)$ хеш-сім'я є множина з N функцій h такі, що

$$h : A \rightarrow B, \quad (2)$$

де $h \in H$, $|A| = n$ та $|B| = m$, $n \geq m$.

Визначення 5 [12, 14]. $(N; n, m)$ хеш-сім'я є ε універсальною, якщо для будь-яких двох різних елементів $x_1, x_2 \in A$ існує найбільша кількість εN функцій $h \in H$ таких, що $h(x_1) = h(x_2)$. Аббревіатура ε -U використовується для позначення ε універсальних хеш-функцій.

Вочевидь, якщо h вибирається випадково із заданого ε -U $(N; n, m)$ хеш-сім'ї, тоді ймовірність колізії хеш-значень для двох різних вхідних повідомлень $x_1, x_2 \in A$ не перевищує ε .

$$\Pr_{h \in H} [h(x_1) = h(x_2)] \leq \varepsilon. \quad (3)$$

Насамперед, визначення універсальних хеш-функцій Картера і Вегмана було запропоновано для $\varepsilon = 1/m$. Наступні визначення – це узагальнення попереднього.

Визначення 6 [13]. H є ε майже універсальною сім'єю хеш-функцій (ε -AU $(N; n, m)$), якщо $\Pr_{h \in H} [h(x_1) = h(x_2)] \leq \varepsilon$ для $x_1, x_2 \in A$, $x_1 \neq x_2$, $1/m \leq \varepsilon \leq 1$.

Наступні визначення стосуються класів хеш-функцій суворою універсальності.

Визначення 7 [13]. H є ε суворо універсальною сім'єю хеш-функцій (ε -SU $(N; n, m)$), якщо для всіх $x_1, x_2 \in A$, $x_1 \neq x_2$ та всіх $a, b \in B$, $\Pr_{h \in H} [h(x_1) = a, h(x_2) = b] = \varepsilon$, $\varepsilon = 1/B^2$.

Визначення 8 [13]. H є ε майже суворо універсальною сім'єю хеш-функцій (ε -ASU $(N; n, m)$), якщо для всіх $x_1, x_2 \in A$, $x_1 \neq x_2$ і всіх $a, b \in B$, $\Pr_{h \in H} [h(x_1) = a, h(x_2) = b] \leq \varepsilon$.

Однією з найбільш відомих універсальних сімей хеш-функцій є PolyCW хешування (polynomial Carter–Wegman hashing) [13]. Головна властивість PolyCW функції визначається фундаментальною теоремою алгебри: многочлен, відмінний від нуля, степеня не менше k , має не менше k коренів. Імовірність колізії для поліноміальної хеш-функції обмежується відношенням k/q , де q – просте число, визначальне поле Z_q для обчислення многочленів. Множина ключів визначається значенням q . Чим більше розмір ключового простору, тим більшу кількість слів можна хешувати до досягнення допустимої імовірності колізії. При збільшенні q зростають тимчасові затрати на обчислення хеш-значень у Z_q . При русі q від 2^{32} до 2^{64} тимчасові витрати збільшуються у два рази. Обмеження, пов'язані із обчисленнями у великих полях Z_q , частково знімаються в конструкції сповзаючого поліноміального хешування RPHash (ramped polynomial hashing), використаного в УМАС алгоритмі [15; 16].

Ще одним підходом, що зменшує суперечність між обчислювальними витратами у великих полях і необхідністю забезпечити на великій довжині повідомлення мале значення ймовірності колізії, є застосування універсального хешування з алгеброгеометричними кодами (АГК) [17–20]. У схемах з АГК (n, k, d) імовірність колізії визначається значенням $1 - d/n$. Для відомих до нинішнього часу АГК імовірність колізії обмежується в кращому випадку значенням, що оберненопропорційно квадрату розмірності поля Z_q . Тому цікавою є поведінка параметрів хеш-функції на основі алгеброгеометричних кодів, особливо за різних умов їх використання.

Застосування алгеброгеометричних кодів для побудови універсальних сімей хеш-функцій забезпечує найкращі співвідношення між розміром хеш-значень та ймовірністю колізії при обчисленнях у кінцевих полях. Зв'язок між універсальною сім'єю хеш-функцій і кодовими схемами вперше був визначений Бієрбрауером, Джохансоном, Кабатіанськи та Смітом [17].

Теорема [17]. Якщо існує $(N, K, D)_q$ код, тоді існує $\left(1 - \frac{D}{N}\right) - AU(N; K, q)$ хеш-сім'я. І навпаки, якщо є $\varepsilon - U(N; n, m)$ хеш-сім'я, тоді існує $(N; n, N(1 - \varepsilon))$ код.

Аналіз загальних характеристик АГК показав, що найкращі властивості з погляду на їх кодову відстань та складність обчислення мають розширений код Ріда–Соломона, коди з використанням кривих Ерміта та коди з використанням кривих Судзукі [18–20].

Універсальне хешування за РС кодами (Rsh) в алгеброгеометричній інтерпретації має таке подання. Нехай F – алгебраїчне покриття F_q . Точки ξ визначаються гомогенними координатами (x, y) , мають значення $P_i = (\alpha_i, 1)$, $0 \leq i \leq q-1$ та $Q = (1, 0)$ – особлива точка (точка невизначеності). Нехай $f \in F_q(\xi)$ – раціональні функції, визначені в кожній P_i з коефіцієнтами у F_q і мають полюс

порядку менше, ніж m у точці Q , і немає інших полюсів. Раціональна функція f має вигляд $\frac{\alpha(x, y)}{\beta(x, y)}$,

де $\alpha(x, y)$ та $\beta(x, y)$ – гомогенні поліноми степеня $< k$. Алгеброгеометричний код визначимо як

$$C = \left\{ \left(f(P_0), f(P_1), \dots, f(P_{q-1}) \right) \mid f \in L(mQ) \right\}. \quad (4)$$

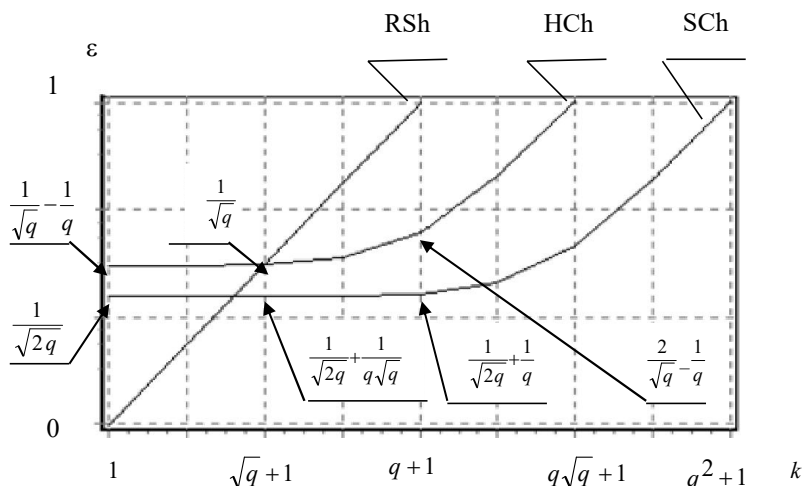
Код \tilde{N} має розмірність простору $L(mQ)$, $g = 0$, $k = \dim C = m - g + 1 = m + 1$ і мінімальну відстань $d \geq n - m$. Таким чином, отримуємо РС код $(q, k, q - k + 1)$ у алгеброгеометричній інтерпретації і універсальний клас хеш-функцій $\frac{k-1}{q} - U(q, q^k, q)$.

Алгеброгеометричне хешування за кодами Ерміта (Hch) використовує криву Ерміта, що визначається рівнянням $y^{\sqrt{q}} + y = x^{\sqrt{q}+1}$ над квадратичним полем $F_{q=p^2}$. Число точок кривої $N = q\sqrt{q+1}$, сім'я $g = \sqrt{q}(\sqrt{q}-1)$. Нехай $P_\infty = (0:1:0)$ і $G = mP_\infty$. Базис простору $L(mQ)$ задається функціями $\{x^i \cdot y^j : i\sqrt{q} + j(\sqrt{q}+1) \leq m\}$. Для алгеброгеометричного кодування код Ерміта має параметри $[\sqrt{q}, k, d \geq q\sqrt{q} - k + 1 - g]$, що обумовлюють параметри універсального хешування $\frac{1}{\sqrt{q}} \left(\frac{k-1}{q} + 1 - \frac{1}{\sqrt{q}} \right) - U(q\sqrt{q}, q^k, q)$.

Крива Судзукі $y^q - y = x^{q_0}(x^q - x)$ визначена над полем F_q , $q = 2q_0^2$, $q_0 = 2^s$ сім'ї $g = q_0(q-1)$ і має число точок $N = q^2 + 1$. Базис простору $L(\rho_\ell P_0)$ задається функціями

$$\left\{ w^j \cdot v^j \cdot y^t \cdot x^r : i(q + 2q_0) + j(q + 2q_0 + 1) + t(q + q_0) + r \cdot q \leq \rho_\ell \right\}. \quad (5)$$

Залежність ймовірності колізій для АГК конструкцій від довжини хешуемого повідомлення зображена на рисунку.



Залежність ймовірності колізії для універсального хешування з АГК від довжини повідомлення

Аналіз залежності асимптотичних границь ймовірності колізії $\varepsilon(k)$ для конструкцій з АГК показує, що при $k < \sqrt{q}$ перевагу мають RS коди. При $k > \sqrt{q}$ слід віддати перевагу HC і SC кодам. Універсальне хешування з кодами Судзукі має меншу ймовірність колізії порівняно з кодами Ерміта на всіх довжинах повідомлень. Разом з тим відсутність практичного, ефективного алгоритму обчислення хеш-значень для схеми з кодами SC обмежує їх застосування в схемах універсального хешування.

Схеми з HC кодами для $k = q + 1$ мають значення $\varepsilon(q + 1) = \frac{2}{\sqrt{q}} - \frac{1}{q}$, при подальшому зростанні $k \rightarrow q\sqrt{q}$ ε майже лінійно прямує до 1. Таким чином, застосування АГК для хешування даних дозволяє забезпечити хешування повідомлень завдовжки $k \leq \sqrt{q}$ з імовірністю колізії, яка не перевищує значення $\varepsilon = \frac{2}{\sqrt{q}}$, і складністю обчислень, що визначається арифметикою поля F_q і алгоритмом побудови кодових слів.

Складність обчислення хеш-функції RSh_q для повідомлень завдовжки k слів складе k операцій додавання і множення. Застосування HCh_q хешування потребує (це не складно показати) приблизно $k + \sqrt{q}$ операцій додавання і множення [18–20]. Таким чином, RSh_q хешування ефективніше щодо витрат на обчислення, але для довжин даних, які перевищують значення $k > \sqrt{q}$, програє за ймовірністю колізії HCh_q схемі. Порівняльний аналіз параметрів схем хешування з розглянутими кодовими конструкціями наведений у таблиці.

Параметри розглянутих схем хешування

Схема хешування	Асимптотичні оцінки ймовірності колізії ε	Поле обчислень	Довжина хешуємих даних
RSh_q	$\frac{k-1}{q}$	F_q , $q = p^m$	$1 \leq k \leq q$
HCh_q	$\frac{1}{\sqrt{q}} \left(\frac{k-1}{q} + 1 - \frac{1}{\sqrt{q}} \right)$	F_q , $q = p^2$	$1 \leq k \leq q\sqrt{q}$
SCh_q	$\frac{1}{q} \left[\frac{k-1}{q} + \sqrt{\frac{q}{2}} \right]$	F_q , $q = p^{2f+1}$	$1 \leq k \leq q^2$

Недолік хешування з АГК полягає в тому, що ймовірність колізії зростає майже лінійно із зростанням довжини повідомлення, а її зменшення можливе шляхом обмеження довжини повідомлення, що хешується, або збільшення розміру поля обчислення хеш-значення Z_q .

Отже, для побудови хеш-схем найбільш цікавими є АГК дуже великої довжини, ефективні в обчислювальному відношенні. До таких практичних кодів віднесені коди з використанням кривих Ерміта.

Висновки

Проведене дослідження методів побудови MAC кодів імітозахисту на основі алгеброгеометричних кодів показало, що одним із шляхів підвищення імітостійкості передавання даних є застосування кодів з використанням кривих Ерміта.

Практичні схеми хешування повинні включати класи хеш-функцій з великим коефіцієнтом стиснення для даних можливо дуже великого об'єму. Для цих цілей цікавими є сім'ї хешей на основі довгих алгеброгеометричних кодів. У схемах з АГК кодами (n, k, d) імовірність колізії визначається значенням $1 - d/n$. Лінійне зростання ймовірності колізії для RShp хешування обмежує розмір хешуемого повідомлення.

Викладена теорія універсального хешування з алгеброгеометричними кодами Ріда–Соломона і кодами з використанням кривих Ерміта здатна забезпечити необхідні показники ймовірності колізії хеш-функцій.

Перелік джерел посилання

1. Про Стратегію кібербезпеки України: Указ Президента України від 15.03.2016 р. № 96/2016. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/96/2016> (дата звернення: 08.11.2019).
2. Про затвердження загальних вимог до кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури: Постанова Кабінету Міністрів України від 19.06.2019 р. № 518. *Офіційний вісник України*. 2019. № 50. С. 53.
3. Орлов М. М. Оперативне застосування військ Національної гвардії України у системі фізичного захисту атомних електростанцій. *Забезпечення службово-бойової діяльності Національної гвардії України*: зб. тез VI наук.-практ. конф. м. Харків, 9 квіт. 2015 р. Харків: НАНГУ, 2015. С. 41–42.
4. Білоусов С. І. Об'єктові, локальні та спеціальні автоматизовані системи оповіщення цивільного захисту: навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2013. 44 с.
5. Горбенко І. Д., Горбенко Ю. І. Прикладна криптологія: монографія. Харків: ХНУРЕ: Форт, 2012. 878 с.
6. Гопша В. Д. Коды на алгебраических кривых. *Доклады АН СССР*. 1981. Т. 259. № 6. С. 1289–1290.
7. Влэдуц С. Г., Манин Ю. И. Линейные коды и модулярные кривые. *Современные проблемы математики*. Москва: ВИНТИ, 1984. Т. 25. С. 209–257.
8. Влэдуц С. Г., Ногин Д. Ю., Цфасман М. А. Алгеброгеометрические коды. Основные понятия. Москва: МЦНМО, 2003. 504 с.
9. Ruud Pellikaan. Asymptotically good sequences of curves and codes. *Proc. 34th Allerton Conf. on Communication, Control and Computing*, Urbana-Champaign, October 2–4, 1996. P. 276–285.
10. Voss, Tom Hoholdt. An explicit construction of a sequence of codes attaining the Tsfasman-Vladut-Zink bound. The first steps. *IEEE Trans. Info. Theory*. 1997. vol. IT-43. P. 128–135.
11. Preneel B., Rijmen V. “Cryptographic primitives for information authentication state of the art” in State of the Art in Applied Cryptography. *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag. 1998. № 1528. P. 50–105.
12. Black J., Rogaway P. Ciphers with arbitrary finite domains. *Proceedings of CT-RSA'02. Lecture Notes in Computer Science SpringerVerlag*. 2002. № 2271. P. 114–130. URL: www.cs.ucdavis.edu/~rogaway/papers/subset.htm.
13. Carter J. L., Wegman M. N. Universal classes of hash functions. *J. Computer and System*. 1979. Sci. 18. P. 143–154.
14. Stinson D. Universal hashing and authentication codes. *Design, Codes and Cryptography*. 1994. Vol. 4. P. 369–380.

15. UMAC: Fast and secure message authentication / J. Black et al. *In Advances in Cryptology "CRYPTO" '99: Lecture Notes in Computer Science*, Springer-Verlag. 1999. Vol. 1666. P. 216–233.
16. UMAC / T. Krovetz et al. *Primitive submitted to NESSIE*. 2000. Sept. P. 157–160.
17. On families of hash functions via geometric codes and concatenation / J. Bierbrauer et al. *Advances in Cryptology, CRYPTO '93 Proceedings*. Springer-Verlag. 1994. P. 331–342.
18. Халимов Г. З., Кузнецов А. А. Аутентификация с применением алгеброгеометрических кодов. *Радиотехника*. 2001. Вып. 119. С. 103–109.
19. Халимов Г. З., Иохов А. Ю. Аутентификация с применением эрмитовых кодов. *Вестник ХПИ*. Харьков, 2005. Вып. 9. С. 26–32.
20. Халимов Г. З., Иохов А. Ю. Универсальное хеширование по рациональным функциям кривой Эрмита. *Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку: зб. тез доп. міжнародної наук.-практ. конф., м. Харків, 17–18 берез. 2011 р.* Харків: Акад. ВВ МВСУ, 2011. С. 48–51.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2019 р.

УДК 681.3.06

А. Ю. Иохов, В. Г. Малюк, И. И. Сидоренко

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ИМИТОСТОЙКОСТИ СИГНАЛОВ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СИСТЕМ ОХРАНЫ НГУ НА АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Исследованы пути повышения имитостойкости сигналов предупреждения систем охраны НГУ на объектах критической инфраструктуры. Выполнен анализ подлинности сообщений с конструктивными элементами MAC кодов на основе семейств хеш-функций. Сделан вывод, что практические схемы хеширования должны включать классы хеш-функций с большим коэффициентом сжатия для данных возможно очень большого объема. Представлены оценки коллизионной устойчивости для схем универсального хеширования по лучшим алгебраическим кривым с большим числом точек и максимальным кривым.

К л ю ч е в ы е с л о в а: подлинность сообщений, алгебраические кривые, хеш-функции, универсальное хеширование.

UDC 681.3.06

O. Iohov, V. Maliuk, I. Sydorenko

DETERMINATION OF WAYS OF SPOOFING RESISTANCE IMPROVEMENT OF WARNING SYSTEMS OF NGU SECURITY SYSTEMS AT NUCLEAR POWER PLANTS

An important part of the combat activity of units of the National Guard of Ukraine is the physical protection of important state critical infrastructure facilities. The development of modern information technologies leads to the emergence of new threats to the security of such facilities, in particular, the number and power of cyber-attacks motivated by the interests of individual states, organizations and groups of people is growing. This determines the relevance of ensuring the confidentiality and integrity of messages exchanged between units of the National Guard of Ukraine through a warning system with potentially dangerous objects. To solve this problem, imitation-resistant data encoding is used, which makes it possible to check whether the data has been changed by a third party. The likelihood that the data has been changed serves as a measure of the resistance of the cipher.

Ensuring the simulated resistance of data transmission systems is possible on the basis of solving an interconnected set of information protection tasks. The quality of solving security problems is largely

determined by cryptographic algorithms for encryption, digital signature, hashing and generation of authentication codes used.

A study of ways to increase the spoofing resistance of warning signals of the guard systems of the National Guard of Ukraine at critical infrastructure facilities was conducted.

An analysis of the authenticity of messages with constructive elements of MAC codes based on hash function families is made. It is concluded that practical hashing schemes should include hash classes with a large compression ratio for data of very large volumes as possible. For these purposes, hash families on the basis of long algebraic geometric codes are of interest.

An analysis of the general characteristics of algebraic-geometric codes showed that the best properties in terms of their code distance and computational complexity are the extended Reed-Solomon code, codes on Hermite curves, and codes on Suzuki curves. Collision stability estimates are presented for universal hashing schemes for the best algebraic curves with a large number of points and a maximum curve.

The presented theory of universal hashing with Reed-Solomon algebraic-geometrical codes and codes on Hermite curves shows the ability to provide the necessary measure of the probability of collision of hash functions. Since a linear increase in collision probability for Reed-Solomon hashing limits the size of the hashed message, one of the ways to increase the simplicity of data transmission is to use codes on Hermite curves.

К е у в о р д s: message authenticity, algebraic curves, hash functions, universal hashing

Юхов Олександр Юрійович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри військового зв'язку та інформатизації Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0002-1718-0138>

Малюк Віктор Григорович – кандидат технічних наук, професор кафедри військового зв'язку та інформатизації Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0001-6510-3025>

Сидоренко Ірина Ігорівна – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фундаментальних дисциплін Національної академії Національної гвардії України.

<https://orcid.org/0000-0001-7434-682X>

- Горєлишев Станіслав Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України (с. 51–57)
- Гребеник Лариса Анатоліївна** – доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (с. 36–43)
- Зубкова Ніна Вікторівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (с. 44–50)
- Іванець Михайло Григорович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (с. 51–57)
- Іванець Григорій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри піротехнічної та спеціальної підготовки Національного університету цивільного захисту України (с. 51–57)
- Іохов Олександр Юрійович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач кафедри військового зв’язку та інформатизації Національної академії Національної гвардії України (с. 58–65)
- Кайдалов Руслан Олегович** – доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України (с. 23–28)
- Кириченко Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (с. 36–43)
- Ковтун Анатолій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри бойового та логістичного забезпечення Національної академії Національної гвардії України (с. 5–13)
- Кудімов Сергій Анатолійович** – ад’юнкт Національної академії Національної гвардії України (с. 23–28)
- Кужелович Віктор Іванович** – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України (с. 5–13)
- Літовченко Петро Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (с. 14–22)
- Лукашенко Сергій Сергійович** – старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України (с. 5–13)
- Малюк Віктор Григорович** – кандидат технічних наук, професор кафедри військового зв’язку та інформатизації Національної академії Національної гвардії України (с. 58–65)
- Нечипоренко Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (с. 14–22)
- Новак Станіслав Олександрович** – курсант Національної академії Національної гвардії України (с. 44–50)

- Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України (с. 23–28, 29–35)
- Раківненко Валерія Павлівна** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (с. 14–22, 36–43)
- Сало Валентин Андрійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (с. 14–22, 36–43)
- Сидоренко Ірина Ігорівна** – кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фундаментальних дисциплін Національної академії Національної гвардії України (с. 58–65)
- Тарасов Юрій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри підготовки офіцерів запасу Національної академії Національної гвардії України (с. 29–35)
- Тігаренко Оксана Валеріївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної механіки Національної академії Національної гвардії України (с. 44–50)
- Шабалін Олег Юрійович** – кандидат військових наук, доцент, заступник начальника Національної академії Національної гвардії України з озброєння та техніки – начальник відділу технічного забезпечення Національної академії Національної гвардії України (с. 36–43)
- Шаповалов Олександр Ігорович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри автобронетанкової техніки Національної академії Національної гвардії України (с. 44–50)

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
НАЦІОНАЛЬНОЇ ГВАРДІЇ УКРАЇНИ

Випуск 2 (34) / 2019

Відповідальний за випуск *О. О. Морозов*

Редактор *Ф. М. Сирнєв*

Комп'ютерне складання і верстання: *А. О. Теплова, Ю. І. Медвідь*

Формат 60×90/8. Ум. друк. арк. 7,9

Тираж 100 прим. Зам. № 27

Видавець і виготовлювач Національна академія Національної гвардії України.

Майдан Захисників України, 3, м. Харків-1, 61001.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4794 від 24.11.2014 р.