

ISSN 2218-1555

Видання засновано у 2003 р.

Засновник і видавець – Академія  
внутрішніх військ МВС України

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

Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого ЗМІ КВ № 12403-1287 ПР  
від 22.03.2007 р.

Збірник внесено до нового  
Переліку наукових фахових видань  
України в галузі технічних наук  
(постанова президії ВАК України  
від 26 січня 2011 р. № 1-05/1,  
Бюлетень ВАК України, № 3, 2011).

Виходить двічі на рік

*Адреса редакції:*  
61001, м. Харків, пл. Повстання, 3,  
Академія внутрішніх військ  
МВС України

Тел./факс: (057) 732-75-12;  
тел.: (057) 739-26-68.  
E-mail: nov\_avv@mail.ru.

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ  
ПРАЦЬ АКАДЕМІЇ  
ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК  
МВС УКРАЇНИ**

**Випуск 1 (21)**

**2013**

*Розроблення і модернізація  
спеціальної техніки та озброєння*

*Інженерні, технічні, програмно-  
апаратні, програмні засоби,  
комплекси та системи*

*Загальні питання експлуатації  
спеціальної техніки, озброєння,  
технічних засобів, комплексів  
та систем*

*Актуальні проблеми фізики,  
математики, механіки,  
машинознавства*

**Харків  
2013**

*Рекомендовано до друку та розміщення у мережі Інтернет вченою радою Академії внутрішніх військ МВС України (протокол № 20 від 27.06.2013 р.)*

### **РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

*Олександр Олександрович Морозов, доктор технічних наук, професор (голов. редактор);*

*Олександр Павлович Кондратенко, доктор технічних наук, професор (заст. голов. редактора);*

*Олександр Михайлович Крюков, доктор технічних наук, професор;*

*Валерій Петрович Пісарєв, доктор технічних наук, професор;*

*Геннадій Володимирович Певцов, доктор технічних наук, професор;*

*Валентин Андрійович Сало, доктор технічних наук, професор;*

*Владислав Євгенович Карпуть, доктор технічних наук, професор;*

*Геннадій Валентинович Єрмаков, доктор технічних наук, професор;*

*Ігор Костянтинів Шаша, доктор технічних наук, професор;*

*Олександр Іванович Біленко, кандидат технічних наук, доцент;*

*Валентин Євгенович Козлов, кандидат технічних наук, доцент;*

*Валерія Павлівна Раківненко, кандидат технічних наук, доцент;*

*Станіслав Анатолійович Горєлишев, кандидат технічних наук, доцент;*

*Людмила Дмитрівна Алфімова, кандидат хімічних наук, доцент;*

*Геннадій Миколайович Маренко, кандидат технічних наук, доцент;*

*Руслан Олегович Кайдалов, кандидат технічних наук, доцент;*

*Сергій Олексійович Воробйов (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 за рубриками.

Для фахівців внутрішніх військ, правоохоронних органів, інших військових формувань, науковців, викладачів, ад'юнктів, курсантів та студентів вищих навчальних закладів України.

## З М І С Т

*Розроблення і модернізація спеціальної техніки та озброєння***Пісарєв В. П.**

Модельовання процесу підриву бойової колісної машини у випадку наїзду на міну..... 5

**Соколовський С. А., Коханенко В. Б., Яковлев А. М.**

Обзор методів моделювання сглаживающей способности шин..... 9

**Біленко О. І.**

Формування вимог до розкиду дульних швидкостей металевих елементів кінетичної зброї.. 16

*Інженерні, технічні, програмно-апаратні, програмні засоби, комплекси та системи***Крюков О. М., Мудрик В. Г.**

Перспективи експериментального визначення балістичних елементів пострілу..... 21

**Козлов В. Є., Новикова О. О.**

Опис шкал педагогічної кваліметрії методами нечіткої математики..... 25

**Аніпко О. Б., Бусяк Ю. М., Бірюков І. Ю.**

Модель функціонування комплексу бронетанкового озброєння на основі дискретних цепей Маркова..... 29

**Морозов О. О.**

Багатокритеріальна оптимізація складних організаційно-технічних систем за умови невизначеності інформації..... 36

**Єрмаков Г. В., Майборода І. М., Власов К. В., Ірха А. В.**

Нейтралізація електронних замикаючих пристроїв шляхом застосування потужних надширокопосмугових сигналів..... 41

**Єрмаков Г. В., Майборода І. М., Стаховський О. В., Ченикаєв О. В.**

Просторово-часові та енергетичні характеристики циліндричних фазованих антенних решіток для функціонального ураження наземних систем зв'язку..... 43

## C O N T E N T S

*Development and modernization of special equipment and armaments***Pisarev V. P.**

Process explosion of the combat wheel machine on mine modeling..... 5

**Sokolovskiy S. A., Kokhanenko V. B., Yakovlev O. M.**

Overview of the simulation smooths out of the tires..... 9

**Bilenko O. I.**

Forming requirements to the scatter of muzzle velocities of throwing elements of the kinetic weapon..... 16

*Engeneering, hardware, firmware, software, complexes and systems***Kryukov O. M., Mudrik V. H.**

Prospects of experimental determination of ballistic elements firing..... 21

**Kozlov V. Ye., Novikova O. O.**

Description of the pedagogical scales qualimetry the methods of fuzzy mathematics..... 25

**Anipko O. B., Bysak Yu. M., Birukov I. Yu.**

Model of complex armored based discrete Markov chains..... 29

**Morozov O. O.**

Multicriterial optimization of complex organizing-technical systems at condition uncertainty information..... 36

**Yermakov H. V., Maiboroda I. M., Vlasov K. V., Irkha A. V.**

Neutralization of electronic locking devices by application of powerful ultrawideband signals..... 41

**Yermakov H. V., Maiboroda I. M., Stakhovskiy O. V., Chenykayev A. V.**

Spatio-temporal and power characteristics of cylindrical phased array for functional defeat of connection systems..... 43

**З М І С Т**

**C O N T E N T S**

**Обрядін В. В., Єманов В. В., Бойко П. В.,  
Сегінгер Р. В.**

Використання ГІС-технологій в системі  
підтримки прийняття рішення на бій командиром  
стрілецької роти..... 46

**Подригало М. А., Клец Д. М.**

Модель нелінійного відведення еластичного  
колеса автомобіля..... 57

**Белокурський Ю. П., Горбов О. М., Іохов О. Ю.,  
Козлов В. Є., Кузьминич І. В., Щербина О. О.**

Захист інформації у каналах управління  
підрозділами внутрішніх військ МВС України..... 63

*Загальні питання експлуатації спеціальної  
техніки, озброєння, технічних засобів,  
комплексів та систем*

**Топчій Р. І.**

Формування підходів до системи оцінювання  
умов експлуатації бронетехніки шляхом  
впровадження енергетичних характеристик  
транспортного потоку..... 66

**Афанасьєв В. В., Мокреєв В. І.**

Аналіз помилок у техніці стрільби з пістолета... 71

*Актуальні проблеми фізики, математики,  
механіки, машинознавства*

**Літовченко П. І., Нечипоренко В. М., Сало В. А.,  
Іванова Л. П.**

Новий науково обґрунтований метод  
автоматизованого проектування посадок з натягом. 74

Анотації..... 80

Наші автори..... 85

**Obriadin V. V., Yemanov V. V., Boyko P. V.,  
Schinher R. V.**

Use GIS-technology in system of support  
decision making on fighting by commander  
shooting mouths..... 46

**Podrihalo M. A., Klets D. M.**

Model of nonlinear car elastic wheel slipping... 57

**Belokurskyi Yu. P., Horbov O. M.,  
Iokhov O. Yu., Kozlov V. Ye., Kuzminich I. V.,  
Shcherbina O. O.**

Information protection in manage ducts Interior  
Troops MIA of Ukraine..... 63

*General problems of operation of special  
equipment, armaments, technology, complexes  
and systems*

**Topchiy R. I.**

Shaping of approaches in the evaluation of  
operation afv through the introduction of energy  
characteristics for the traffic flow..... 66

**Afanasyev V. V., Mokreyev V. I.**

The error analysis in the shooting technique  
from a pistol..... 71

*Topical problems of physics, mathematics,  
mechanics, theoretical engineering*

**Litovchenko P. I., Nechiporenko V. M., Salo V. A.,  
Ivanova L. P.**

The new science-based method of automated  
design of interference fit..... 74

Annotation..... 80

Our authors..... 85

УДК 629.4.027

В. П. Пісарєв

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПІДРИВУ БОЙОВОЇ КОЛІСНОЇ МАШИНИ У ВИПАДКУ НАЇЗДУ НА МІНУ

*Запропонована математична модель підриву бойової колісної машини у випадку наїзду на міну, проведені чисельними методами розрахунки її відповідності уявленням про реакцію об'єкта досліджень на імпульсну дію ударної хвилі.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* бойова колісна машина, математична модель підриву на міні, прискорення, заряд.

**Постановка проблеми.** На сьогодні недостатньо уваги приділено математичному забезпеченню розв'язування задач стійкості та рівня ураженості елементів конструкції і екіпажу у випадку підриву на мінах, інших вибухових пристроях при застосуванні спеціальної техніки внутрішніх військ у процесі виконання службово-бойових завдань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Однією з найбільш актуальних сьогодні є задача протимінного захисту. Більшість нападів на транспортні колони супроводжується підривом транспортних засобів на мінах і фугасах, після чого відкривають вогонь по зупинених машинах. Втрати особового складу від застосування вибухових пристроїв можна порівняти з втратами від обстрілу зі стрілецької зброї.

Номенклатура машин з підвищеним протимінним захистом розширюється. У більшості випадків мова йде про бойові колісні машини та машини на спеціально розроблених або суттєво модифікованих шасі. Актуальними є також роботи з “локального” і “капсульного” захисту звичайних транспортних засобів підвищеної прохідності [1].

Найбільш критичним напрямком короткочасних перевантажень, діючих на людину при підриві, вважається вертикаль “голова – таз” [1].

**Метою статті** є доведення до наукової спільноти результатів роботи з моделювання робочих процесів у системі “транспортний засіб – середовище” у випадку підриву на вибуховому пристрої при наїзді на нього.

**Виклад основного матеріалу.** Розв'язування задачі захисту, як під час створення, так і модернізації машини, потребує з'ясування рівня перевантажень (прискорень) у місцях розташування членів екіпажу в процесі порівняльного аналізу реакції на підрив різних об'єктів досліджень (з різними конструктивними параметрами). Відомо, що рівень прискорень залежить від багатьох факторів, зокрема від величини заряду в тротиловому еквіваленті, місця заряду у момент підриву (під якимось з коліс, під корпусом машини і т. ін.), а також від конструкції машини, її масових, геометричних, жорсткісних, демпферних параметрів.

Розглянемо розв'язування цієї задачі шляхом чисельного експерименту на прикладі підриву на міні БТР з колісною формулою 8×8, компоновкою і параметрами, близькими до БТР60, БТР70, БТР80.

Очевидно, що математична модель об'єкта дослідження повинна включати не менше трьох узагальнюючих по корпусу машини (вертикальні лінійні переміщення центра мас корпусу машини, поздовжньо-кутові, поперечно-кутові корпусу) та вісім узагальнюючих координат вертикальних переміщень непідресорених мас (за кількістю коліс машини). Це дозволяє врахувати вплив інерційних якостей вищезазначених елементів машини та пружних і демпферних якостей ходової частини з певною конструкцією направляючих пристроїв. Окреме питання у розв'язуванні задачі – моделювання збурюючого фактора (ударної хвилі при підриві).

Система диференціальних рівнянь математичної моделі розширена, порівняно з наведеною у [2], за кількістю узагальнюючих координат і додатковим збурюючим фактором  $y(t)$  та має такий вигляд:

© В. П. Пісарєв

$$\begin{aligned}
 M \cdot \ddot{z} &= \sum_{i=1}^4 P_{zpi} - \sum_{i=1}^4 NP_{zpi} - G; \\
 I_y \cdot \ddot{\alpha} &= \left( \sum_{i=1}^4 P_{zpi} + \sum_{i=1}^4 NP_{zpi} \right) \cdot l_i; \\
 m_1 \cdot \ddot{z}_1 &= P_{zn1} - G_1 - P_{zp1} + y(t); \\
 m_2 \cdot \ddot{z}_2 &= P_{zn2} - G_2 - P_{zp2}; \\
 m_3 \cdot \ddot{z}_3 &= P_{zn3} - G_3 - P_{zp3}; \\
 m_4 \cdot \ddot{z}_4 &= P_{zn4} - G_4 - P_{zp4}; \\
 Nm_1 \cdot N\ddot{z}_1 &= NP_{zn1} - NG_1 - NP_{zp1}; \\
 Nm_2 \cdot N\ddot{z}_2 &= NP_{zn2} - NG_2 - NP_{zp1}; \\
 Nm_3 \cdot N\ddot{z}_3 &= NP_{zn3} - NG_3 - NP_{zp1}; \\
 Nm_4 \cdot N\ddot{z}_4 &= NP_{zn4} - NG_4 - NP_{zp1}; \\
 I_x \cdot \ddot{\psi} &= \left( \sum_{i=1}^4 P_{zpi} + \sum_{i=1}^4 NP_{zpi} \right) \cdot L_i,
 \end{aligned}$$

де  $M$ ,  $G$ ,  $I_y$ ,  $I_x$  – маса, вага та моменти інерції підресореного корпусу відносно поперечної  $OY$  і поздовжньої  $OX$  осі системи координат  $OXYZ$  з началом  $O$  у центрі мас;  $\ddot{z}$ ;  $\ddot{z}_1 \dots \ddot{z}_4$  – лінійні прискорення в напрямку осі  $OZ$  центра мас корпусу та коліс 1, 2, 3, 4 по ходу машини;  $\ddot{\alpha}$ ,  $\ddot{\psi}$  – кутові прискорення корпусу машини відносно поперечної  $OY$  і поздовжньої  $OX$  осей відповідно;  $P_{zpi}$  – зусилля між колесом і корпусом машини, обумовлене дією пружних і демпферних сил підвіски;  $l_i$  – відстані у напрямку осі  $OX$  від центра маси підресореного корпусу до осі  $i$ -го колеса (вздовж машини);  $L_i$  – відстані у напрямку осі  $OY$  від центра маси підресореного корпусу до  $i$ -го колеса (поперек машини);  $m_i$ ,  $G_i$  – маса та вага непідресорених частин підвіски;  $P_{zni}$  – зусилля між опорною поверхнею і колесом  $i$ -ї підвіски;  $y(t)$  – сила від дії ударної хвилі при підриві міни під першим по ходу колесом лівого борту машини.

Літерою  $N$  у диференціальних рівняннях позначені сили на правому по ходу борту машини.

Силу  $y(t)$  представимо (за аналогією з теорією вільних загасаючих механічних коливань одномасової системи з в'язким демпфіруванням – за експоненціальною залежністю [3] і з застосуванням залежностей для надлишкового тиску на фронті ударної хвилі і часу дії цього тиску для нерухомої перепони [4; 5]) у вигляді  $y(t) = STP \cdot A_{yd}(t) \cdot e^{-n \cdot 2\pi \cdot (\frac{t}{\tau})}$ , трансформували залежності для параметрів надлишкового тиску від ударної хвилі для нерухомої перепони з урахуванням рухомості перепони.

Значення параметра  $A_{yd}(t)$  надлишкового тиску (для першого по ходу машини колеса лівого борту) представимо залежністю  $A_{yd}(t) = 10^6 \cdot \frac{Qz}{\sqrt{(Rz + z_1(t))^3}}$ , де  $Rz$  – відстань заряду від рухомої перепони на початку підриву;  $z_1(t)$  – переміщення колеса у процесі підриву.

Значення параметра  $\tau$  (часу дії надлишкового тиску на поверхні рухомої перепони) представимо залежністю  $\tau = 0,0015 \cdot \sqrt{Rz + z_1(t)} \cdot \sqrt[3]{Qz}$ , де  $Qz$  – маса заряду вибухової речовини у тротиловому еквіваленті;  $STP$  – площа рухомої перепони, на яку діє надлишковий тиск;  $n$  – безрозмірний показник загасання за термінологією теорії механічних коливань ( $n > 1$  – загасання сильне,  $n < 1$  – загасання слабке,  $n = 1$  – загасання критичне) [3].

У процесі чисельного експерименту як приклад досліджено вплив величини заряду міни у тротиловому еквіваленті на величину прискорень  $aVOD$  на місці водія при підриві на міні під першим по ходу руху лівим колесом (місце водія розташоване близько до цього колеса). При цьому прийнято,

що вся енергія заряду підриву прикладена тільки до колеса у зоні контакту з міною і витрачена для надання руху елементам конструкції машини.

Вихідні значення параметрів:  $M = 10378$  кг;  $m_{1,2,3,4} = 277,25$  кг;  $J_y = 3,977 \times 10^4$  кг·м<sup>2</sup>;  $J_x = 3,674 \times 10^3$  кг·м<sup>2</sup>;  $l_1 = l_4 = 2,2$  м;  $l_2 = l_3 = 0,85$  м;  $L_{1,2,3,4} = 1,19$  м;  $L_v = 2,5$  м (відстань місця водія від центра мас по осі  $OX$ );  $L_{vp} = 1,0$  м (відстань місця водія від центра мас по осі  $OY$ ); пружна характеристика підвіски наведена на рис. 2.

Деякі результати розрахунків за прискореннями  $aVOD$  на місці водія, отримані із застосуванням чисельного методу Рунге-Кута, зі змінним шагом, наведені на рис. 1. У процесі чисельного експерименту змінювалась величина  $Qz$  заряду.

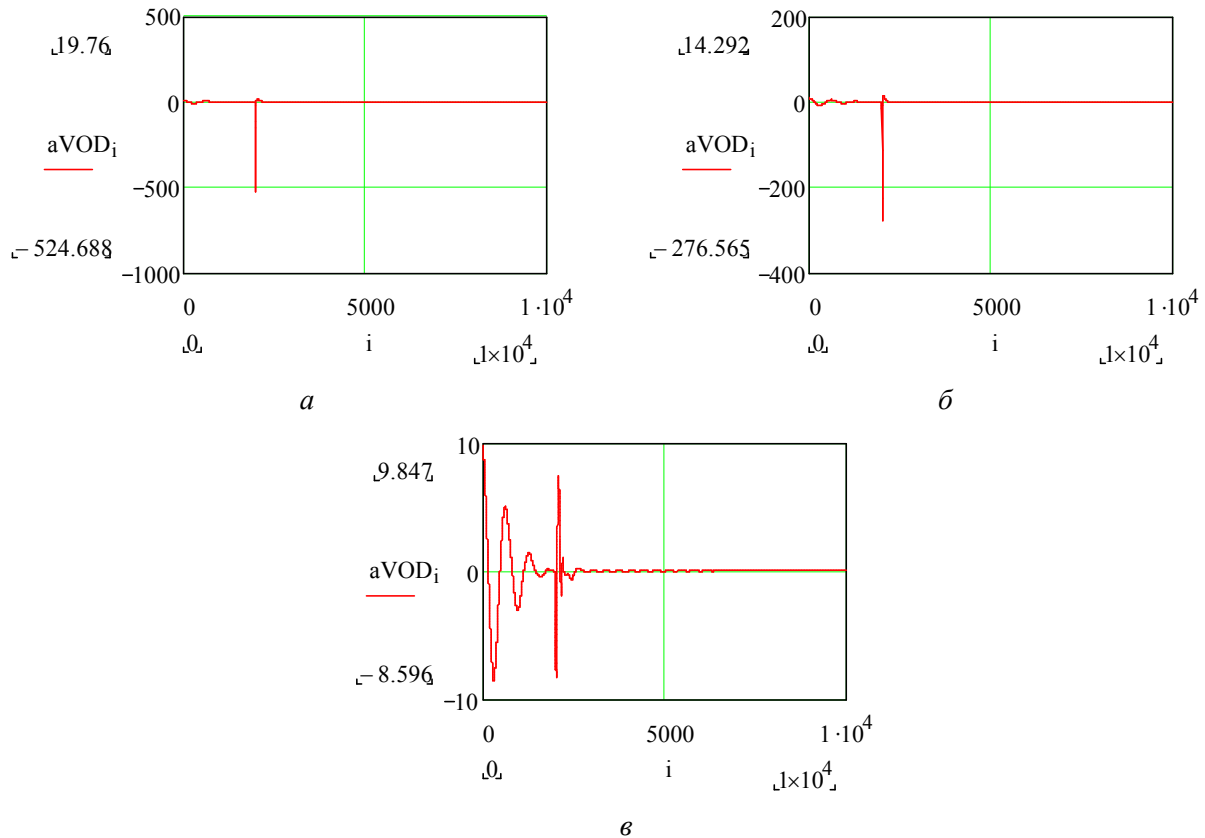


Рис. 1. Результати розрахунків прискорення  $aVOD$  на місці водія, м/с<sup>2</sup> ( $i/10^3$  – час, с): а – прискорення  $Qz=3,5$  кг; б – прискорення  $Qz=2,5$  кг; в – прискорення  $Qz=1,5$  кг

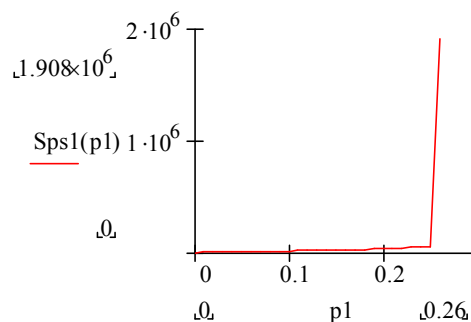


Рис. 2. Пружна характеристика підвіски ( $p1$  – хід підвіски, м;  $Sps1$  – зусилля на колесі, Н)

З рис. 1 видно, що величина  $Qz$  заряду суттєво по-різному впливає на величину  $aVOD$ , не зважаючи на те, що у процесі дослідження заряд змінюється з однаковим шагом, рівним 1,0 кг. Якщо при зменшенні заряду з 3,5 до 2,5 кг (у 1,4 разу) прискорення зменшуються у 1,897 разу, то при зменшенні заряду з 2,5 до 1,5 кг (у 1,66 разу) прискорення зменшуються у 32,17 разу. Причиною

цього є стан пружного упору (обмежувача ходу підвіски). При виході упору з ладу у випадку перевищення його допустимої деформації (перевищення відповідного допустимого ходу підвіски, що має місце при підриві на мінах із зарядом 3,5...4,5 кг), жорсткість взаємодії підвіски з корпусом машини різко зростає і, як наслідок, значно збільшується зусилля  $Sp_{c1}$  (див. рис. 2). При підриві на міні з зарядом 1,5 кг упор з ладу не виходить і прискорення значно менші, тому що жорсткість підвіски за пружною характеристикою також значно менша.

Зауважимо, що певною мірою (щодо порядку чисельних значень як орієнтира у першому наближенні при розробленні математичної моделі) здобуті теоретичним шляхом результати співвідносяться з результатами натурних експериментальних досліджень, проведених у Росії у 2012 році [1], при підриві броньованого кунга СБА-60. У випадку підриву під геометричним центром кунга заряду 6,0 кг у тротиловому еквіваленті значення короткочасного перевантаження по вертикальній осі на підлозі кунга склало 906,4g (8887,2 м/с<sup>2</sup>), а на рамі крісла 86,4g (846,72 м/с<sup>2</sup>).

### **Висновки**

1. Запропонована математична модель реакції бойової колісної машини на імпульсне (короткочасне) зусилля, що діє на об'єкт дослідження при підриві на міні, якісно відповідає результатам сучасних теоретичних і експериментальних досліджень цих процесів у межах проведених розрахунків.

2. Застосування розробленої математичної моделі дозволяє отримати оцінку реакції об'єкта у разі підриву на міні для порівняльного аналізу різних за параметрами об'єктів.

### **Список використаних джерел**

1. Федосеев, С. Специальные, бронированные, транспортные [Текст] / С. Федосеев // Техника и вооружение вчера, сегодня, завтра. – М. : Техинформ, 2012. – С. 2–7.
2. Пісарєв, В. П. Можливості транспортного засобу з гальмування за відсутністю пробою підвіски [Текст] / В. П. Пісарєв // Вісник НТУ “ХПІ”: зб. наук. пр. – Х. : НТУ “ХПІ”, 2011. – № 56. – С. 29–33. – (Тематичний випуск “Автомобіле- і тракторобудування”).
3. Цзе, Ф. С. Механические колебания [Текст] / Ф. С. Цзе, И. Е. Морзе, Р. Т. Хинкл. – М. : Машиностроение, 1966. – 507 с.
4. Покровский, Г. И. Взрыв и его применение [Текст] / Г. И. Покровский. – М. : Воениздат, 1960. – 67 с.
5. Покровский, Г. И. Взрыв [Текст] / Г. И. Покровский. – Изд. 4. – М. : Надра, 1980. – 192 с.

*Стаття надійшла до редакції 08.02.2013 р.*



УДК 625.032

С. А. Соколовский, В. Б. Коханенко, А. М. Яковлев

## ОБЗОР МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СГЛАЖИВАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШИН

*Обобщены результаты анализа публикаций теоретических и экспериментальных исследований сглаживающей способности пневматических шин. Определено, что в оценивании сглаживающей способности шины исследователи больше всего используют модель постоянного сглаживания, которая строится на процедуре осреднения удельных упругодемпфирующих характеристик шины либо исходного микропрофиля дороги на постоянном интервале.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а: пневматическая шина, деформация, сглаживающая способность, демпфирующие элементы, режимы нагружения колеса, колебательная система, микропрофиль дороги.*

**Постановка проблемы.** Пневматические шины существенно влияют на основные эксплуатационные характеристики автомобиля: тяговые и тормозные свойства, управляемость, устойчивость, шум, топливная экономичность, а также плавность хода. При исследовании влияния свойств и параметров пневматических шин на характеристики автомобиля используют экспериментальные и теоретические методы анализа динамической системы “дорога–шина–автомобиль”.

Современные методы разработки и доводки автомобильной техники, ориентированные на широкое применение вычислительной техники и систем автоматизированного проектирования, позволяют уже на стадии проектного задания исследовать и совершенствовать системы поддрессоривания и виброзащиты, а также оценивать показатели и характеристики плавности хода и нагруженности несущей системы. Однако узким местом использования программных систем по-прежнему является отсутствие адекватных, теоретически и экспериментально обоснованных моделей, учитывающих преобразующие свойства пневматической шины и, особенно, ее сглаживающую способность.

Актуальной является перспективная задача, связанная с исследованием и конструированием шин, способных частично или даже полностью взять на себя функции подвески за счет значительного проявления сглаживающего эффекта и возможности воспринимать и рассеивать энергию от воздействия неровностей дороги. Актуальность проблемы также обусловлена потребностями форсированных испытаний автомобилей на специальных дорогах автополигонов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Сглаживающая способность пневматических шин изложена в работах [1–8].

**Постановка задачи.** В исследованиях плавности хода и вибронегруженности автомобилей для повышения достоверности расчетов, особенно ускорений неподрессоренных масс и прогибов шины, следует учитывать сглаживающую способность шин. Разрабатывая новую модель сглаживающей способности пневматической шины, необходимо учитывать своеобразие взаимодействия эластичной шины с неровностями дороги. Также следует учитывать динамику изменения длины отпечатка шины при моделировании ее сглаживающей способности.

**Изложение основного материала.** Первоначально под сглаживающей способностью шины подразумевали процесс изменения траектории оси колеса и сил, действующих на неподрессоренные массы при обкатывании колесом с эластичной шиной отдельных неровностей дороги различной высоты и конфигурации. В дальнейшем исследования процессов взаимодействия колеса с пневматической шиной и неровностями дорожного полотна показали, что данное свойство колеса следует называть нивелирующей способностью [2], которая интегрирует в себе сглаживающую способность шины и обкатывающую (обтекающую) способность самого колеса.

Исследования обтекающей способности автомобильного колеса (как жесткого, так и эластичного) представляют интерес для определения загрузки и плавности хода транспортных машин и тракторов, эксплуатируемых по бездорожью, и в настоящее время практически завершены работами ученых (А. К. Бируля, А. К. Фрумкин, В. А. Щетина, В. М. Гольдштейн, Г. Д. Гродский, Р. Л. Гуслицер, К. Klorper, Н. Moppert, М. Julien, I. Paulsen и др.).

Проблема учета сглаживающей способности шины имеет короткую историю своего развития. Это связано, в первую очередь, со значительной сложностью рассматриваемой проблемы в теоретическом описании этого эффекта пневматической шины и в экспериментальной проверке выявленных закономерностей, а также в неизбежном изменении параметров колебательной системы, в состав которой шина входит как упругий и демпфирующий элемент.

Под сглаживающей способностью шины сегодня понимают свойство шины уменьшать подъем оси колеса по сравнению с высотой преодолеваемой неровности и увеличивать зону действия неровности на колесо [3]. При этом качение колеса по неровностям дороги сопровождается смещением границ начала и окончания взаимодействия элементов шины с неровностями относительно их действительных границ, смещением взаимодействующих элементов шины относительно их вертикали, проходящей через ось, и одновременно взаимодействием шины с несколькими последовательно расположенными неровностями в зоне контакта [1].

Э. И. Толстопятенко в работе [4] первым предпринял попытку оценить влияние сглаживающего эффекта пневматической шины на амплитудно-частотную характеристику одномассовой колебательной системы, эквивалентной передней части землеройно-транспортной машины. Автор предположил, что в пятне контакта шины отрыва протектора от неровностей дороги не происходит, скорость качения колеса постоянна, жесткость элементов шины по периметру колеса неизменна, а длина пятна контакта постоянна. В одномассовой колебательной системе шина представляется бесконечным множеством эквивалентных пружин, заменяющих ее опорную часть – протектор (рис. 1).

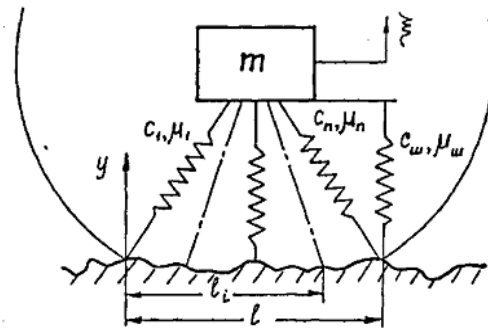


Рис. 1. Схема эквивалентной одномассовой колебательной системы:  
 $l_i$  – расстояние до  $i$ -го элемента;  $l$  – длина отпечатка шины [4]

Дифференциальное уравнение движения такой одномассовой системы имеет вид:

$$m \cdot \ddot{\xi}_{ш} - \sum_{i=1}^{\infty} (\dot{y}_i - \dot{\xi}_{ш}) \cdot \mu_i + \sum_{i=1}^{\infty} (y_i - \xi_{ш}) \cdot c_i = 0, \quad (1)$$

где  $m$  – часть массы шины, приведенная к центру колеса;  $\xi_{ш}, \dot{\xi}_{ш}, \ddot{\xi}_{ш}$  – вертикальные перемещение, скорость и ускорение центра колеса;  $y, \dot{y}$  – вертикальные смещение и скорость смещения профиля дороги;  $c$  – коэффициент нормальной жесткости эквивалентной пружины;  $\mu$  – коэффициент неупругого сопротивления эквивалентной пружины.

Учитывая, что  $\sum_{i=1}^{\infty} \mu_i = \mu_{ш}, \sum_{i=1}^{\infty} c_i = c_{ш}$ , где  $c_{ш}, \mu_{ш}$  – коэффициенты жесткости и неупругого сопротивления шины, а также принимая прямоугольный закон распределения упругих и демпфирующих элементов в зоне контакта и постоянство их характеристик по длине контакта, автор получил выражение амплитудно-частотной характеристики в виде:

$$\left| W(i, \omega) \right|_{\xi_{ш}/y} = \left| \left( \frac{2 \cdot V}{\omega \cdot l} \cdot \sin \frac{\omega \cdot l}{2 \cdot V} \right) \cdot \omega^2 \cdot \sqrt{\frac{c_{ш}^2 + \mu_{ш}^2 \cdot \omega^2}{(c_{ш} - m \cdot \omega^2)^2 + \mu_{ш} \cdot \omega^2}} \right|, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость продольного качения колеса;  $\omega$  – условная собственная частота колебаний системы.

Первую часть зависимости (2) можно записать как произведение двух составляющих:

$$|W(i \cdot \omega)|_{\xi_{uu}}^y = |K(V, \omega)| \cdot |R(i \cdot \omega)|, \quad (3)$$

где  $|R(i \cdot \omega)|$  – амплитудно-частотная характеристика колебательной системы без учета сглаживающего эффекта шины;  $|K(V, \omega)|$  – функция (оператор) сглаживания, равная

$$|K(V, \omega)| = \frac{2 \cdot V}{\omega \cdot l} \cdot \sin \frac{\omega \cdot l}{2 \cdot V}. \quad (4)$$

На рис. 2 представлены графики функций  $|R(i \cdot \omega)|$  и  $|K(V, \omega)|$  для колебательной системы, эквивалентной передней части скрепера типа Hanclock 12E2E при скорости качения колеса 2 м/с.

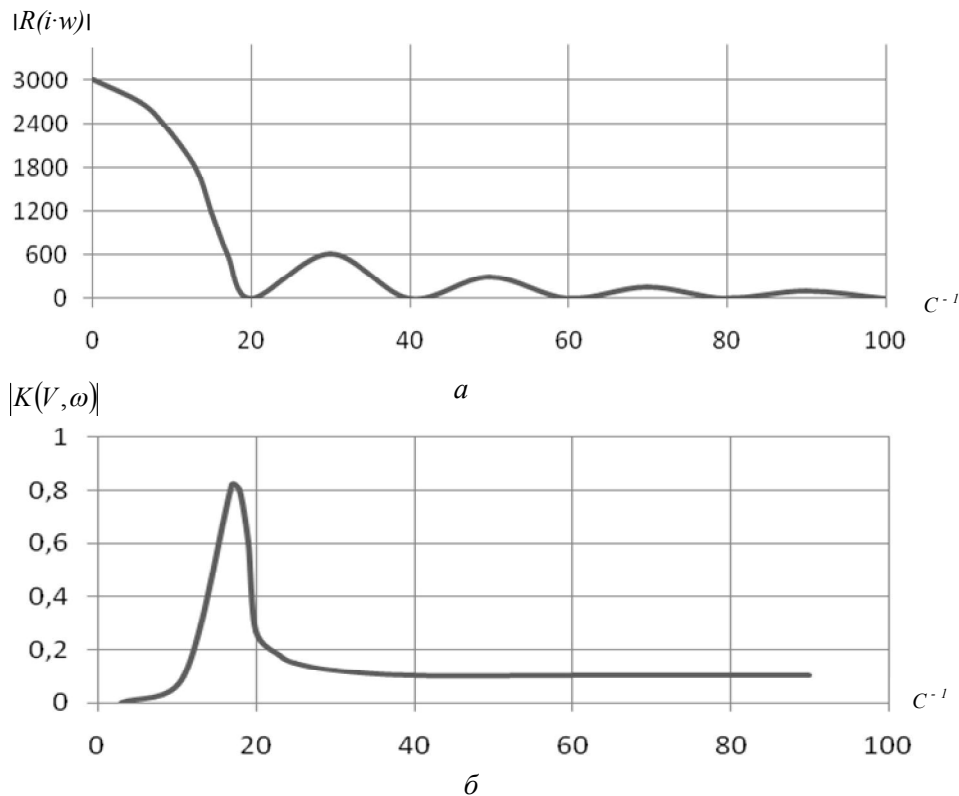


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики колебательной системы, эквивалентной передней части самоходного скрепера типа Hanclock 12E2E:

*a* – без учета сглаживания; *б* – функция сглаживания [4]

Анализируя полученные результаты, можно сделать следующие выводы:

- представленная на рис. 1 модель шины позволяет вывести уравнение колебаний системы, эквивалентной передней (задней) части землеройно-транспортной машины, с учетом сглаживающей способности шины;
- амплитудно-частотная характеристика такой колебательной системы зависит от скорости движения вследствие учета сглаживающего эффекта шины;
- сглаживающая способность шины оказывает существенное влияние на колебания машины при движении на малых скоростях (до 20 км/ч).

Несколько иной подход к оцениванию сглаживающей способности пневматической шины при взаимодействии с неровной дорогой случайного микропрофиля предложен в работах Н. Н. Яценко [1; 5]. При тех же допущениях о безотрывном качении колеса с постоянной скоростью и неизменной длине пятна контакта шины с дорогой шина моделируется как тонкая, идеально эластичная оболочка,

плотно облегающая каждую неровность в зоне контакта, с характеристиками упругости и демпфирования сосредоточенного элемента (рис. 3).

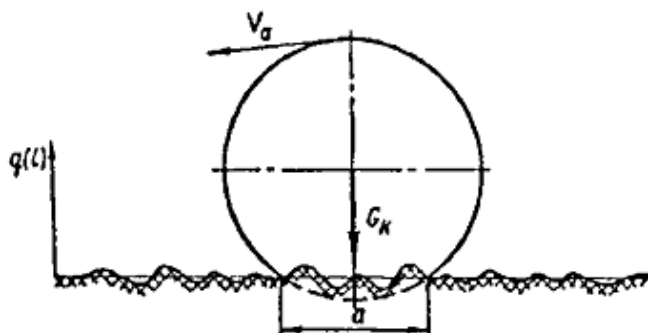


Рис. 3. Схема взаимодействия колеса с пневматической шиной и дороги с короткими неровностями [5]

Для плоского сечения такой модели шины вертикальное воздействие дороги на колесо выражается средним значением функции исходного микропрофиля  $q(l)$  на длине отпечатка шины  $a$ :

$$q_{сз}(l) = \frac{1}{a} \cdot \int_{l-a/2}^{l+a/2} q(l) dl, \quad (5)$$

где  $q_{сз}(l)$  – функция сглаженного шиной микропрофиля.

Принимая соотношение (5) за математическую модель сглаживающей способности шины, были определены статические характеристики микропрофиля дороги (корреляционная функция и спектральная плотность) с учетом эффекта сглаживания. Выполненные преобразования позволили вывести следующее соотношение:

$$S_{q_{сз}}(\lambda, a) = \frac{2}{\lambda^2 \cdot a^2} \cdot (1 - \cos \lambda a) \cdot S_q(\lambda), \quad (6)$$

где  $S_q(\lambda)$  – спектральная плотность исходного микропрофиля;  $S_{q_{сз}}(\lambda, a)$  – спектральная плотность сглаженного микропрофиля;  $\lambda$  – волновая частота.

Как пример на рис. 4 изображен эффект сглаживания при расчете спектральной плотности микропрофиля специальной дороги автополигона для двух шин разной размерности.

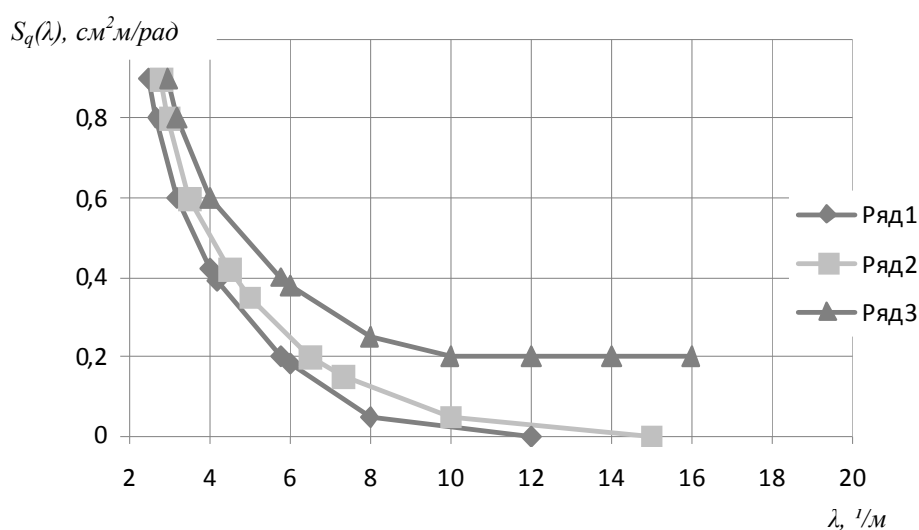


Рис. 4. Спектральные плотности микропрофиля специальной дороги из крупного булыжника:  
Ряд 1 – сглаженного шиной 15.00 – 20; Ряд 2 – сглаженного шиной 12.00 – 18;  
Ряд 3 – без учета сглаживающей способности шины [6]

Таким образом, в данном исследовании эффект постоянного сглаживания пневматической шины реализуется путем коррекции характеристик исходного микропрофиля дороги, а не амплитудно-частотных характеристик колебательных систем автомобиля, в состав которых входит шина. Учет постоянного сглаживания путем коррекции амплитудно-частотных характеристик равносильен введению в колебательную систему нового звена, что не менее целесообразно в силу устоявшихся представлений об эквивалентных колебательных системах автомобиля и его подвески.

Основным недостатком рассмотренных моделей постоянного сглаживания пневматической шины, построенных на осреднении микропрофиля и его воздействия [5] либо характеристик упругости и демпфирования [4] по длине отпечатка, является то, что введение этих моделей в расчет приводит к появлению нолей на графиках спектральных плотностей реакций эквивалентных колебательных систем, не подтверждаемых экспериментально. Поэтому в ряде исследований сделана попытка учесть динамику изменения пятна контакта шины, в частности, его длины при движении автомобиля по неровным дорогам.

В работе В. С. Васильева [7] и других подход к учету эффекта сглаживания шиной неровностей дороги основан на осреднении упругих характеристик шины по длине отпечатка, принимаемого постоянным при движении машины.

Частотная характеристика сглаживающего преобразования имеет вид:

$$H_{ш}(\lambda \cdot l_0) = \left| \frac{\sin \lambda l_0}{\lambda \cdot l_0} \right|, \quad (7)$$

где  $\lambda = \frac{2\pi}{l_n}$  – дорожная (волновая) частота;  $l_n$  – длина волны неровности;  $2l_0$  – длина отпечатка шины с дорогой ( $2l_0 = \text{const}$ ).

Чтобы учесть динамику изменения длины пятна контакта шины, авторы предложили сгладить амплитудно-частотную характеристику эффекта (7) уравнением огибающей вида:

$$H_{ш}(j \cdot \lambda_0) = \frac{\lambda_n}{j \cdot \lambda + \lambda_g}, \quad (8)$$

где  $\lambda_g = 1/l_0$  – волновая частота, соответствующая длине волны  $l_0$ .

Для проверки модели сглаживающего эффекта шины вида (8) были проведены исследования колебаний автомобиля ЗИЛ-130 на специальных дорогах автополигона НИЦИАМТа [8]. Исследования показали, что целесообразность учета сглаживающей способности шин зависит от передаточной функции динамической системы, эквивалентной реальному автомобилю. Было установлено, что при малых скоростях движения  $V_a$  сглаживающая способность шины влияет на параметры колебаний: ускорения масс, деформации шин и др.; при больших скоростях сглаживающая способность шины практически не отражается на колебаниях автомобиля, т. к. он реагирует на неровности, длина которых больше  $l_n = 2 \cdot \pi / \lambda_0$ .

Скорость автомобиля, до которой следует учитывать сглаживающую способность шины, равна:

$$V_a = 0,9 \cdot \omega_m \cdot l_0, \quad (9)$$

где  $\omega_m$  – максимальная частота в спектре возмущения, на которую реагирует система.

На **рис. 5** показано влияние сглаживающего эффекта шины на вертикальные ускорения точки кузова над задней осью порожнего автомобиля ЗИЛ-130. Как видно, учет сглаживающей способности шины при  $V_a \leq 35$  км/ч уменьшает среднее квадратическое вертикальных ускорений. При этом сходимость результатов расчета и эксперимента при малых скоростях улучшается.

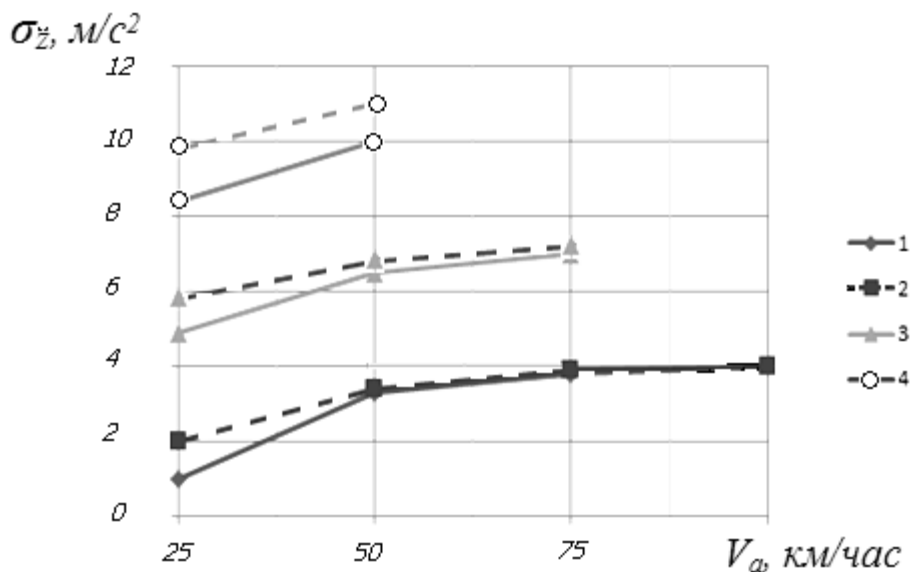


Рис. 5. Влияние сглаживающей способности шины на ускорения передних поддресоренных масс автомобиля ЗИЛ-130: 1 – асфальтированное шоссе с учетом сглаживания; 2 – покрытие дороги без учета сглаживания; 3 – разбитая бульжная дорога с учетом сглаживания; 4 – бульжная дорога в удовлетворительном состоянии с учетом сглаживания [8]

### Выводы

Обобщая результаты критического анализа публикаций теоретических и экспериментальных исследований сглаживающей способности пневматических шин, в том числе и касающихся моделирования эффекта сглаживания шиной неровностей дороги, можно сделать следующие выводы.

1. В большинстве случаев при исследовании плавности хода и вибронагруженности автомобилей сглаживающую способность не учитывают, что существенно снижает достоверность расчетов (особенно ускорений неподдресоренных масс и прогибов шины).

2. Для оценивания сглаживающей способности шины исследователи больше всего используют модель постоянного сглаживания, которая строится на процедуре осреднения удельных упругодемпфирующих характеристик шины либо исходного микропрофиля дороги на постоянном интервале, равном длине отпечатка шины при номинальной нагрузке на колесо.

3. Модель постоянного сглаживания позволяет улучшить сходимость расчетных данных с экспериментальными в исследовании колебаний автомобиля. Однако реальное поведение шины при качении колеса по неровностям дороги характеризуется интенсивным изменением ее радиальной деформации и отличается от усредненного статического представления, реализованного в модели.

4. Попытки учета динамики изменения длины отпечатка в моделировании сглаживающей способности шины реализованы только для частных случаев описания исходного микропрофиля, что существенно сужает область применения подобных моделей.

5. При разработке новой модели сглаживающей способности пневматической шины необходимо учитывать своеобразие взаимодействия эластичной шины с неровностями дороги, т. е. способность шины усреднять кинематическое воздействие дороги в зоне контакта шины и значительное изменение длины пятна контакта в процессе колебаний колеса.

### Список использованных источников

1. Яценко, Н. Н. Поглощающая и сглаживающая способность шин [Текст] / Н. Н. Яценко. – М. : Машиностроение, 1978. – 132 с.

2. Степанов, Ю. В. Оценка нивелирующей способности эластичных колес [Текст] / Ю. В. Степанов, В. С. Соловьев, К. В. Фролов // Автомобильная промышленность. – 1975. – № 9. – С. 18 – 21.
3. Работа автомобильной шины [Текст] / В. И. Кнороз, Е. В. Кленников, И. П. Петров и др.; под ред. В. И. Кнороза. – М. : Транспорт, 1976. – 238 с.
4. Толстопятенко, Э. И. Исследование нивелирующей способности шин самоходных землеройно-транспортных машин [Текст] / Э. И. Толстопятенко // Строительные и дорожные машины: информ. научно-техн. сб. – М. : ЦНИИТЭИСтроймаш, 1970. – Вып. 1. – С. 13 – 16.
5. Дмитриев, А. А. Особенности взаимодействия пневматической шины с микропрофилем дороги [Текст] / А. А. Дмитриев, В. С. Шупляков, Н. Н. Яценко // Автомобильная промышленность. – 1973. – № 5. – С. 27 – 30.
6. Рыков, С. П. Моделирование вибронагруженности автобуса ЗИЛ с учетом преобразующих свойств пневматических шин [Текст] / С. П. Рыков, С. К. Карцов // Проблемы механики современных шин: материалы Второй междунар. конф, Улан-Удэ. 2003. –Т. 3. – С. 192–195.
7. Васильев, В. С. Расчет параметров колебаний бесподвесочной машины при случайных возмущениях [Текст] / В. С. Васильев, В. П. Жигарев, А. А. Хачатуров // Устойчивость управляемого движения автомобиля : Труды МАДИ. – М. : МАДИ, 1971. – Вып. 41. – С. 88 – 97.
8. Динамика системы “дорога – шина – автомобиль – водитель” [Текст] / А. А. Хачатуров, В. Л. Афанасьев, В. С. Васильев и др.; под ред. А. А. Хачатурова. – М. : Машиностроение, 1976. – 535 с.

*Стаття надійшла до редакції 20.10.2012 р.*

УДК 623.44

О. І. Біленко

## ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО РОЗКИДУ ДУЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ МЕТАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ КІНЕТИЧНОЇ ЗБРОЇ

*Висвітлено особливості формування вимог до дульної швидкості металюного елемента кінетичної зброї несмертельної дії та бойової зброї з обмеженою відстанню убивчої дії. Розроблено метод формування вимог до розкиду дульних швидкостей металюних елементів такої зброї, що враховує мінімально та максимально допустимі значення швидкості зустрічі металюного елемента з ціллю та динаміку спаду його швидкості.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* кінетична зброя, дульна швидкість, балістичний коефіцієнт.

**Постановка проблеми та аналіз публікацій.** Дульна швидкість  $V_0$  металюного елемента (МЕ) є основною балістичною характеристикою кінетичної зброї [1], що визначає такі її бойові властивості, як пробивна, зупиняюча, убивча та бічна дії, дальності прямого пострілу та дійсного вогню, гранична дальність польоту МЕ. Зброя з більшою дульною швидкістю має більші значення вказаних характеристик, тому для бойової зброї максимізація  $V_0$  є актуальним завданням. Проте підвищення дульної швидкості не завжди корисне. Під час застосування бойової зброї у населених пунктах або приміщеннях надмірна дульна швидкість і залежна від неї кінетична енергія можуть спричинити поранення сторонніх осіб чи стрільця внаслідок рикошету або невиправдано великі матеріальні збитки [2]. Для кінетичної зброї несмертельної дії (КЗНД) та бойової зброї з обмеженою відстанню убивчої дії (БЗОВ) надмірна швидкість МЕ може спричинити смертельне ураження цілі, що з урахуванням мети застосування зброї, не є припустимим. Отже, виникає необхідність не максимального збільшення дульної швидкості МЕ, а визначення та забезпечення її конкретного значення або діапазону значень, що задовольнятимуть умовам вогневого завдання [3].

Під час формування вимог до дульної швидкості МЕ регламентації підлягають номінальне значення швидкості та розкид її значень [2]. Номінальне значення швидкості МЕ визначає номінальні значення вказаних вище тактико-технічних характеристик зброї, а розкид значень дульної швидкості впливає на розкид цих характеристик та впливає на влучність стрільби через розсіювання висоти траєкторій.

Для бойової зброї достатня дія МЕ на ціль та відповідні відстані забезпечуються використанням підвищувальних коефіцієнтів, тобто простим перевищенням розрахункового значення дульної швидкості [4; 5].

Проблема неоднорідності дульних швидкостей МЕ для бойової зброї розглядається через призму забезпечення купчастості та влучності стрільби. При цьому (внаслідок існуючого запасу дульної швидкості) деяке відхилення математичного очікування  $V_0$  від розрахункового значення  $V_{0\text{ розр}}$  у бік збільшення або зменшення вважається допустимим.

У разі стрільби з артилерійських систем, особливо на великі відстані, відхилення дульної швидкості від номінального значення враховують за допомогою поправкових коефіцієнтів [6; 7]. У випадку застосування автоматичної стрілецької зброї розкид швидкостей МЕ на влучність стрільби суттєво не впливає через відносно невеликі відстані стрільби, настільність траєкторії та суттєвий вплив на влучність стрільби інших чинників (коливання ствола, віддача зброї тощо). Для снайперської зброї підвищення купчастості та влучності стрільби досягають звуженням допусків на виготовлення елементів патронів [8].

Для КЗНД та БЗОВ такі підходи не є прийнятними [3]. Про відсутність методів та методик формування вимог до розкиду дульних швидкостей МЕ такої зброї опосередковано свідчить факт невідповідності тактико-технічних характеристик існуючих зразків КЗНД вимогам практики [9] та відсутність на озброєнні БЗОВ.

Отже, розробка науково-методичного апарату формування вимог до розкиду дульних швидкостей МЕ для КЗНД та БЗОВ є актуальним завданням.

**Мета статті** – розроблення методу формування вимог до розкиду дульних швидкостей МЕ кінетичної зброї.



**Виклад основного матеріалу.** У випадках застосування КЗНД та БЗОД відхилення дульної швидкості МЕ  $\Delta V_\delta = |V_\delta - V_{\delta \text{ розр}}|$  може бути причиною надмірної або недостатньої його дії на ціль, яка визначається залежними від швидкості МЕ величинами кінетичної  $E_k$  та питомої  $E_{\text{пит}}$  енергій [10]. За умов забезпечення заданої дії МЕ на ціль  $\Delta V_\delta$  впливатиме на величину діапазону відстані, у якому вимоги до цієї дії виконуються.

Вплив відхилення  $\Delta V_\delta$  на діапазон  $\Delta X$  припустимих відстаней застосування рушниці Форт-500 з патроном Терен-12П ілюструє **рис. 1**. На рисунку суцільною лінією зображена залежність швидкості зустрічі МЕ з ціллю  $V_c$  від дальності до цілі  $X_c$ , яка відповідає номінальному (розрахунковому) значенню дульної швидкості МЕ, а пунктирними лініями – залежності  $V_c(X_c)$  для дульних швидкостей, що відрізняються від номінального значення на 2 % у більший та менший бік. Напівжирними лініями зображені ділянки відстаней, на яких енергетичні характеристики МЕ знаходяться у допустимих межах ( $65 \leq E_k \leq 80$  Дж,  $E_{\text{пит}} \leq 0,5$  Дж/мм<sup>2</sup> [10]). З рисунку видно, що за незначних відхилень  $V_\delta$  від  $V_{\delta \text{ розр}}$  величина діапазону припустимих відстаней застосування зброї практично не змінюється, а межі діапазону зсуваються у бік зменшення або збільшення відстаней. Проте під час застосування зброї заздалегідь не відомі напрямок та величина відхилення  $\Delta V_\delta$ , тому допустимим можна вважати лише діапазон відстаней  $\Delta X'$ , який для даного випадку на 35 % менше величини  $\Delta X$ . За умов відхилення  $V_\delta$  від  $V_{\delta \text{ розр}}$  на величину  $\pm 5$  %, яка для бойової зброї вважається гранично допустимою, діапазон  $\Delta X'$  для нашого випадку практично зникає.

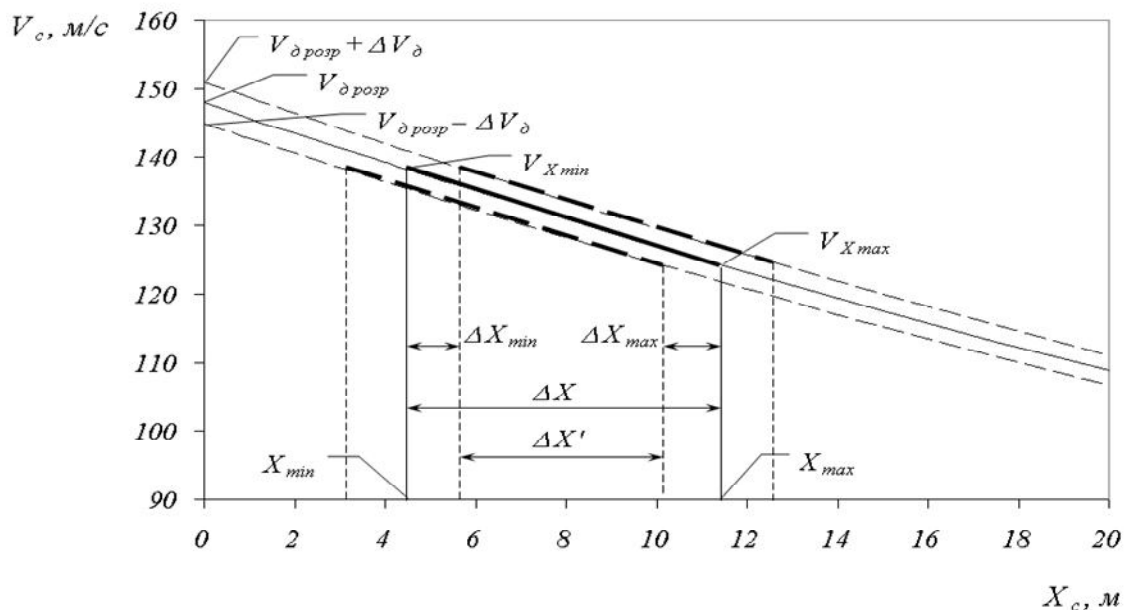


Рис. 1. Вплив  $\Delta V_\delta$  на діапазон  $\Delta X$  для рушниці Форт-500 з патроном Терен-12П

Отже, під час формування вимог до розкиду значень дульної швидкості МЕ КЗНД та БЗОД треба враховувати вплив цього фактора не стільки на купчастість стрільби, скільки на величину діапазону допустимих відстаней застосування зброї  $\Delta X$ .

Очевидно, що значення  $X_{\text{min}}$  та  $X_{\text{max}}$  (рис. 1) залежать від величини  $V_\delta$  та динаміки спадання швидкості МЕ, тобто похідних швидкості від координати в точках  $V_{X \text{ min}}$  та  $V_{X \text{ max}}$ . За достатньо малих значень  $X_{\text{min}}$  та  $X_{\text{max}}$  відповідні відхилення від  $X_{\text{min}}$  та  $X_{\text{max}}$  у більший та менший бік можна вважати рівними. При цьому  $X_{\text{min}} \neq X_{\text{max}}$  через можливу суттєву різницю похідних  $dV/dX$  на відстанях  $X_{\text{min}}$  та  $X_{\text{max}}$ , що властиве для МЕ з великими значеннями балістичного коефіцієнта.

Швидкість МЕ у довільній точці траєкторії можна розрахувати за формулою [11]:

$$V_X = V_\delta \cdot e^{-kCX}, \quad (1)$$

звідки

$$X = \frac{1}{k \cdot C} \ln \frac{V_{\partial}}{V_X} \quad (2)$$

На основі формули (2) отримано вирази:

$$\Delta X = \frac{1}{k \cdot C} \left( \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}}}{V_{X_{\max}}} - \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}}}{V_{X_{\min}}} \right), \quad (3)$$

$$\Delta X_{\min} = \frac{1}{k \cdot C} \left( \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}} + \Delta V_{\partial}}{V_{X_{\min}}} - \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}}}{V_{X_{\min}}} \right), \quad (4)$$

$$\Delta X_{\max} = \frac{1}{k \cdot C} \left( \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}}}{V_{X_{\max}}} - \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}} - \Delta V_{\partial}}{V_{X_{\max}}} \right). \quad (5)$$

З рис. 1 видно, що  $\Delta X' = \Delta X - (\Delta X_{\min} + \Delta X_{\max})$ , отже, з урахуванням виразів (3–5) маємо:

$$\Delta X' = \frac{1}{k \cdot C} \left( \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}} - \Delta V_{\partial}}{V_{X_{\max}}} - \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}} + \Delta V_{\partial}}{V_{X_{\min}}} \right). \quad (6)$$

На рис. 2 наведено залежність величини діапазону відстаней  $\Delta X'$ , в якому забезпечуються потрібні значення енергетичних характеристик МЕ, від величини  $\Delta V$ .

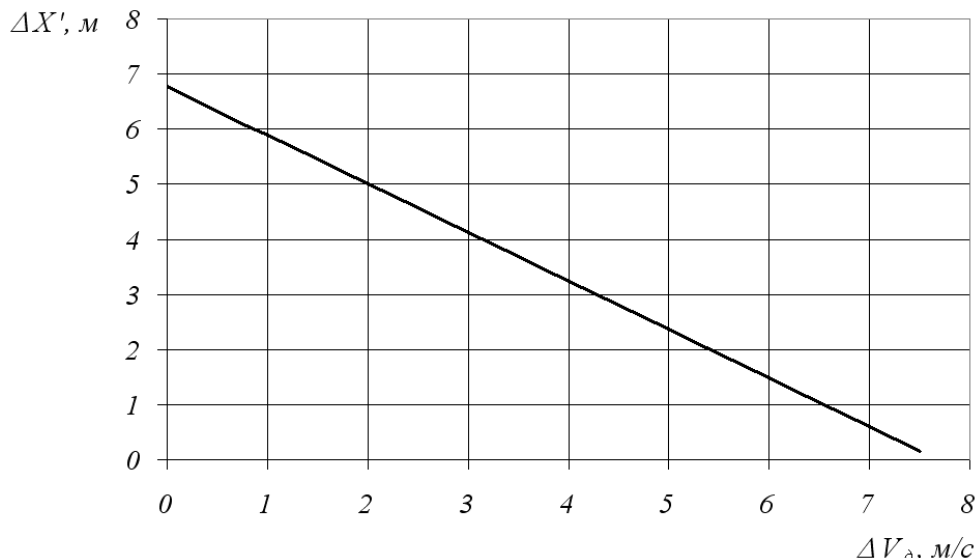


Рис. 2. Залежність  $\Delta X'(\Delta V)$  для рушниці Форт-500 з патроном Терен-12П

Отримана залежність дозволяє формулювати вимоги до граничного відхилення дульних швидкостей МЕ від розрахункового значення.

Наприклад, для  $\Delta X' = 5$  м граничне відхилення дульної швидкості від номінального значення не повинне перевищувати 2 м/с.

Для бойової зброї з обмеженою відстанню убивчої дії під діапазоном  $\Delta X'$  треба розуміти відстань між точками траєкторії  $X_{\min} - \Delta X_{\min}$  та  $X_{\min} + \Delta X_{\min}$ , тобто  $\Delta X' = 2\Delta X_{\min}$ . У цьому випадку вираз (6) матиме вигляд:

$$\Delta X' = \frac{1}{k \cdot C} \left( \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}} + \Delta V_{\partial}}{V_{X_{\min}}} - \ln \frac{V_{\partial \text{ розр}} - \Delta V_{\partial}}{V_{X_{\min}}} \right). \quad (7)$$

Для формування вимог до розкиду дульних швидкостей МЕ кінетичної зброї необхідно отримати обернену залежність  $\Delta V(\Delta X')$ .

З (1) виходить:

$$V_{\partial} = V_X \cdot e^{kCX}, \quad (8)$$

звідки

$$V_{\partial \text{ розр}} + \Delta V_{\partial} = V_{X_{\min}} \cdot e^{kC(X_{\min} + \Delta X_{\min})}, \quad (9)$$

$$V_{\partial \text{ розр}} - \Delta V_{\partial} = V_{X_{\max}} \cdot e^{kC(X_{\max} - \Delta X_{\max})}. \quad (10)$$

З формул (9) та (10) отримаємо:

$$\Delta V_{\partial} = \frac{V_{X_{\min}} \cdot e^{kC(X_{\min} + \Delta X_{\min})} - V_{X_{\max}} \cdot e^{kC(X_{\max} - \Delta X_{\max})}}{2}. \quad (11)$$

У формулу (11) входять  $\Delta X_{\min}$  та  $\Delta X_{\max}$ , значення яких не відомі, тому виразимо їх через інші величини. Припустимо, що  $\Delta X_{\min} = \Delta X_{\max} = 0,5(\Delta X - \Delta X')$ . Тоді з формули (11) отримаємо:

$$\Delta V_{\partial} = \frac{V_{X_{\min}} \cdot e^{kC[X_{\min} + 0,5(\Delta X - \Delta X')]} - V_{X_{\max}} \cdot e^{kC[X_{\max} - 0,5(\Delta X - \Delta X')]}}{2}. \quad (12)$$

Співвідношення (12) дозволяє отримати залежність  $\Delta V(\Delta X')$  (рис. 3) та формувати вимоги до розкиду дульних швидкостей металевих елементів КЗНД.

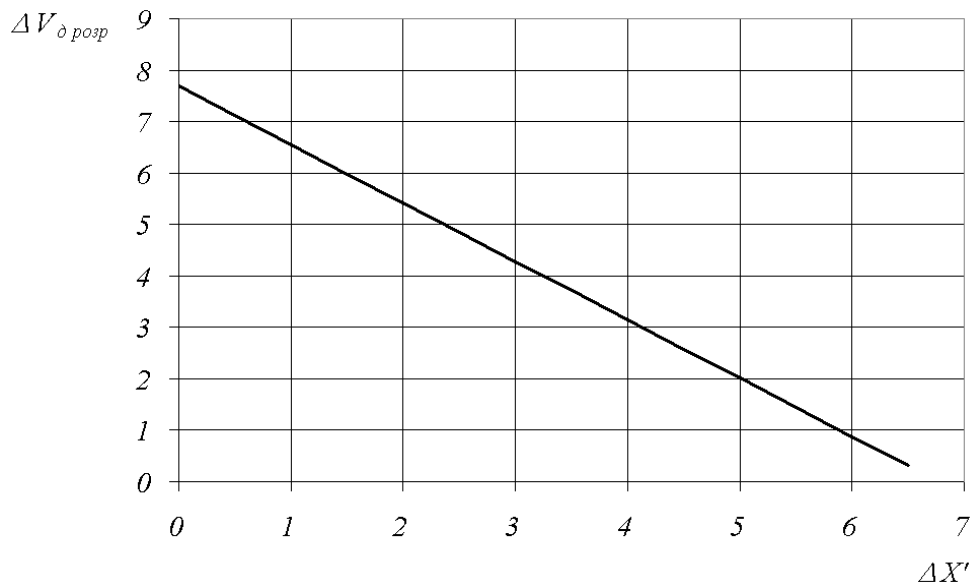


Рис. 3. Залежність  $\Delta V(\Delta X')$  для рушниці Форт-500 з патроном Терен-12П

Для БЗОВ розрахункове співвідношення матиме вигляд формули (13), а вхідною величиною, що регламентується, замість  $\Delta X'$  буде  $\Delta X_{\min}$ :

$$\Delta V_{\partial} = V_{X_{\min}} \cdot e^{kC(X_{\min} + \Delta X_{\min})} - V_{\partial \text{ розр}}. \quad (13)$$

Зауважимо, що припущення про рівність  $\Delta X_{\min}$  та  $\Delta X_{\max}$  впливає на точність розрахунку значень  $V_{\text{д розр}} + \Delta V_{\text{д}}$  та  $V_{\text{д розр}} - \Delta V_{\text{д}}$ , а саме збільшує їх на приблизно однакову величину. Враховуючи, що шуканою величиною є  $\Delta V_{\text{д}}$  та аналізуючи спосіб її отримання (11, 12), можна зробити висновок про зневажливо малий вплив вказаного припущення на величину  $\Delta V_{\text{д}}$ . Для випадку, що розглядається (див. рис. 1), відносна похибка визначення  $\Delta V_{\text{д}}$  для КЗНД (12) не перевищує 0,03 %. Для БЗОД (13) відносна похибка дещо більша – до 0,34 %.

### **Висновки**

1. Для формулювання вимог до розкиду дульних швидкостей металевих елементів КЗНД та БЗОД неприйнятні методи, що застосовуються під час розв'язування аналогічної задачі для бойової зброї, отже, існує необхідність у розробленні спеціальних методів.

2. Під час формування вимог до розкиду значень дульних швидкостей металевих елементів КЗНД та БЗОД необхідно враховувати вплив цього фактора на величину діапазону допустимих відстаней застосування зброї.

3. Розроблено метод формування вимог до розкиду дульних швидкостей металевих елементів КЗНД та БЗОД, який враховує мінімально та максимально допустимі значення швидкості зустрічі МЕ з цілью та динаміку спадання його швидкості.

4. Напрямок подальшого дослідження є розроблення методу формування вимог до номінального значення дульної швидкості металевих елементів КЗНД та БЗОД.

### **Список використаних джерел**

1. Проектирование ракетных и ствольных систем [Текст] / Б. В. Орлов, Ю. И. Топчеев, В. Ф. Устинов и др. – М. : Машиностроение, 1974. – 828 с.
2. Біленко, О. І. Тактико-технічні характеристики стрілецької зброї для сил охорони правопорядку, які підлягають регламентації [Текст] / О. І. Біленко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 2/10 (62). – С. 28 – 32.
3. Біленко, О. І. Розробка тактико-технічних вимог до кінетичної зброї несмертельної дії [Текст] / О. І. Біленко, В. В. Пащенко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х. : ХУПС, 2012. – Вип. 1 (30). – С. 2 – 5.
4. Кирилов, В. М. Основания устройства и проектирования стрелкового оружия [Текст] / В. М. Кирилов. – Пенза : ПВАНУ, 1963. – 343 с.
5. Чуев, Ю. В. Проектирование ствольных комплексов [Текст] / Ю. В. Чуев. – М. : Машиностроение, 1976. – 216 с.
6. Дмитриевский, А. А. Внешняя баллистика [Текст] / А. А. Дмитриевский. – М. : Машиностроение, 1972. – 584 с.
7. Логвин, А. М. Стрельба артиллерии и внешняя баллистика [Текст] / А. М. Логвин, В. Г. Александров. – Пенза : ПВАИУ, 1977. – 254 с.
8. Біленко, О. І. Вплив параметрів заряджання на початкову швидкість кулі [Текст] / О. І. Біленко, В. В. Афанасьєв // Вестник национального технического университета "ХПИ". – Х. : НТУ "ХПИ", 2007. – № 11. – С. 33–37.
9. Біленко, О. І. Зброя несмертельної дії для військових формувань та правоохоронних органів / О. І. Біленко, В. В. Пащенко // Збірник наукових праць НАПСУ. – Хмельницький : НАПСУ, 2010. – № 54. – С. 47–50.
10. Біленко, О. І. Розробка тактико-технічних вимог до кінетичної зброї несмертельної дії [Текст] / О. І. Біленко, В. В. Пащенко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х. : ХУПС, 2012. – Вип. 1 (30). – С. 2–5.
11. Вентцель, Д. А. Внешняя баллистика [Текст] / Д. А. Вентцель, Я. М. Шапиро. – М. : Оборонгиз, 1939. – ч. 2. : Внешняя баллистика. – 264 с.

*Стаття надійшла до редакції 17.05.2013 р.*

UDC 623.51

O. M. Kriukov, V. H. Mudrik

## PROSPECTS OF EXPERIMENTAL DETERMINATION OF BALLISTIC FIRING ELEMENTS

*The analysis of accuracy requirements for ballistic firing elements is given. The necessity of determination of the pressure of powder gases in the bore by measuring of the instantaneous velocity of the throwing element is justified, two methods for solving of this problem are considered. The optical differential Doppler method as a basis for measuring of the velocity of the throwing element is suggested to apply. The main scientific tasks for creation of a measuring device are justified.*

*К е у в о р д с: small arms, ballistic firing elements, Doppler's measuring device*

УДК 623.51

О. М. Крюков, В. Г. Мудрик

## ПЕРСПЕКТИВИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВИЗНАЧЕННЯ БАЛІСТИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПОСТРІЛУ

*Проведено аналіз вимог до точності визначення балістичних елементів пострілу. Обґрунтована доцільність визначення тиску порохових газів у каналі ствола шляхом вимірювання миттєвих значень швидкості руху металевого елемента, розглянуто два методи розв'язування такої задачі. Запропоновано в основу засобу вимірювання швидкості руху металевого елемента покласти оптичний диференціальний доплеровський метод. Обґрунтовано основні наукові задачі, розв'язування яких має передувати створенню такого засобу вимірювання.*

*К л ю ч о в і с л о в а: стрілецька зброя, балістичні елементи пострілу, доплеровський вимірювач швидкості.*

**Statement of the problem.** The research of possibilities and ways to improve of existing and creating new weapons, to improve its tactical and performance characteristics are the priority tasks that are set before the scientists, who are working in the interests of the Interior Troops of MIA of Ukraine.

The scientific investigations in this area may be directed to the development of samples of arms and ammunition or weapons for the existing ammunition sample, the research of powders to determine their strength, speed and burning law and others.

The important component of the effective small arms usage is ensuring of definite nature of the bullet action at certain distances. The ballistic firing elements present the pressure changes of powder gases  $P(t)$  and velocity  $V(t)$  of a throwing element as a function of time of its motion in the barrel since the beginning of the first period of shot. The availability of these data has a high importance.

These relationships make it possible to determine the influence of separate charging terms on the nature of the powder gases impact on the muzzle brake, gas operated devices and other mechanisms, which use the energy of powder gases [1–4], to evaluate the condition of small arms and ammunition that are used, taken from the long-term storage, new or upgraded.

The information taken from the ballistic firing elements is used by designers while designing the barrel, locking component parts, while calculating of the kinematics and dynamics of moving parts, recoil energy, and while solving other problems that are related with the development or modernization of the armament and ammunition.

**Analysis of publications.** As the gradual improvement of small arms takes place, the requirements to the accuracy of ballistic firing elements determination is increasing. For example, the permissible value of the relative error of the pressure law determining is about several percents [1; 2], that is required for the adjusted calculation of the barrel construction, weapons parts and mechanisms, and for the diagnostics of the ammunition condition after long-term storage.

More rigid requirements are demanded on the accuracy of ballistic firing elements determination for the kinetic non-lethal weapons [5]. This is due to usage of such a weapons only in the narrow range of distances to the target, so that the given impact of the throwing element on the target should be provided

(e.g., to avoid the physical destruction of the object while providing the loss of his ability to the getaway, offence or resistance).

The characteristics of the ballistics firing elements, obtained theoretically, may differ significantly from the characteristics of real processes, because the decisions are based on numerous assumptions and simplifications. For example, the value of the maximum pressure of powder gases founded by analytical and empirical methods using the ballistic tables [1; 6] may differ from the experimentally obtained value from 2 to 10 % (depending on the relative weight of the projectile and the values of some coefficients).

One of the perspective ways to improve the accuracy of the ballistic firing elements definition is the implementation of their experimental reception by measuring of instantaneous values of relevant parameters. The experimental curves for ballistic firing elements allow to apply well-known and well-developed theoretical methods of internal ballistics, but also may become the basis for further refinement of the decisions obtained theoretically [1–4].

The well-known methods and means of the barrel powder gases pressure measuring while firing are based on pressure sensor plunging into the barrel [7; 8]. However, a significant drawback of this approach is the irreversible destruction of the arms sample. Thus, the justification of ways of experimental determination of ballistic firing elements at the required accuracy provided and at the condition of non-destructive testing of the arms sample is an actual scientific problem.

**The aim of the article** is to perform the analysis and the justification of prospective methods and means of the experimental determination of ballistic firing elements.

**Statement of the main content.** Using the equation of the gradual movement of the throwing element in the barrel [3], we can see that

$$P(t) = \frac{\varphi m}{s} \frac{dV(t)}{dt} = \frac{\varphi m}{s} a(t), \quad (1)$$

wheres – cross-sectional area of the bore;  $a(t)$  – acceleration of the throwing element;  $m$  – mass of the throwing element;  $\varphi$  – coefficient of the fictitiousness, that considers the loss of powder gases energy due to minor works while the throwing element is moving in the bore.

Secondary works are expended on the rotational motion of the projectile, on the frictional force between the leading part of the projectile and the surface of the bore overcoming, on the gas charge and powder grains that are not burned movement, on the work of the mechanisms and the parts of the automatic weapon movement, on the leading bands of the projectile or leading part of the bullet cutting in grooves, on the barrel, the projectile and the shell heating, on energy loss due to breakthrough of powder gases between the projectile and the barrel side, on the air resistance overcoming and the displacement of the air from the bore [3]. The other secondary works are neglected.

As it can be seen, there is a definite relationship between the ballistic firing elements  $P(t)$  and  $V(t)$ . So it's possible to determine the relation  $P(t)$  based on the data of  $V(t)$ .

It is necessary to get the array  $V_i, i = \overline{1, n}$  of instantaneous values of velocity by measuring them with a sampling interval  $\Delta t$  to solve this problem. Further definitions of  $P(t)$  can be implemented by two ways:

- the polynomial approximation of the curve  $V(t)$  according to the array  $V_i, i = \overline{1, n}$ , differentiation of the resulting polynomial by time (i.e. finding the analytical definition of the acceleration curve  $a(t) = \partial V(t) / \partial t$ ) and calculation of  $P_i$  values at any given time  $t_i = i \cdot \Delta t$  by the expression (1);
- the direct calculation of instantaneous values of  $a_i$  of the acceleration

$$a_i = \frac{V_{i+1} - V_i}{\Delta t} \quad (2)$$

by the instantaneous values of velocity  $V_{i+1}, V_i$  for two adjoining points of the array  $V_i, i = \overline{1, n}$  and calculation of the  $P_i$  values at a given time by the expression

$$P_i = \frac{\varphi m}{s} a_i. \quad (3)$$

Thus, the measuring of the instantaneous values of the in-bore throwing element velocity is the perspective way of clarification of the ballistic firing elements.

The common methods and means of the bullet speed measuring (i.e. chronograph, optical and inductive measuring devices, etc.) provide measurements only outside of the bore and aren't adapted for the first and

the second periods of the shot [8]. Therefore, the development of the theoretical and applied bases of in-bore velocity of the throwing element measuring is the actual scientific problem.

The optical differential Doppler's method may be used as the basis of the measuring instrument for the in-bore velocity of the throwing element measurement. This method is based on the allocation and registration of Doppler's frequency shift between two coherent laser light waves that are directed to the throwing element at different small angles to the longitudinal axis of the bore. The reflected radiation contains two waves, that (due to the effect of interference) create the signal, which carries the information about the velocity of the throwing element [9; 10]. The continuous registration of the difference frequency for the time while the first and the second periods of the shot last will allow to receive the arrays  $V_i, i = \overline{1, n}$  of the instantaneous velocity values for their further processing to calculate the instantaneous pressure values.

In accordance with the preliminary estimates such measuring instrument is characterized by the high potential attainable accuracy of instantaneous velocity values determination of and, at the same time, by the desired operation speed.

However, the creation of Doppler in-bore velocity measuring instrument is a difficult scientific and engineering problem. The specificity of perception, transmission and processing of the measuring information is conditioned by high top limit of speed measuring range (up to several hundreds of m/s), by small duration of the shot (up to 0,001 s) and by extreme values of impact values (for example, mechanical vibrations of the weapon during firing) [3].

The development of design and application principles of the Doppler velocity measuring instrument may be possible as a result of solving of a number of scientific problems solving, the main of which should be determined as follows.

1. Analysis of the peculiarities of the throwing elements in-bore velocity measuring. Research of the of measurement conditions, impact values, the development of requirements to the basic technical characteristics of velocity measuring instrument. Selection and justification of the principle of construction of the optical scheme of Doppler in-bore velocity measuring instrument.

2. Construction of the generalized mathematical model of velocity measuring instrument, obtaining of the calibration characteristic, analysis of its metrological characteristics. Establishing of the relationships between the parameters of the mathematical model and the physical parameters of velocity measuring instrument, development of methods of synthesis of the measuring instrument with desired characteristics.

3. Justification of the requirements to the composition and elements characteristics of the structural scheme of Doppler velocity measuring instrument. Development of a generalized algorithm of processing of measuring information considering the requirements to accuracy of determination of curves of speed and pressure. Justification of recommendations for hardware and software for this algorithm.

4. Construction of mathematical models, analysis of character and values of the measurement error components. Development of ways of desired accuracy of measurement ensuring. Evaluation of the resulting instrumental error, justification of recommendations for implementation and use of measuring instrument.

5. Experimental verification of the adequacy of mathematical models of velocity measuring instrument elements and of models of measuring information processing procedures.

The modern in-bore throwing element velocity measuring instrument should be created on the bases of investigation results, which should be made within the specified destinations. This will allow to obtain experimentally the reliable measuring information about the ballistic firing elements provided that the growing requirements to the accuracy are met.

### **Conclusion**

It is necessary to have specified information about ballistic firing elements in order to solve the problems of designing and upgrading of weapons, justification of barrel design, parts and mechanisms design, and optimization of automatics. It is possible to increase the reliability of modeling of the internal ballistic processes by means of specification of solutions obtained theoretically and based on the results of measuring experiment.

The implementation of experimental determination of ballistic firing elements based on the creation of measuring instrument for in-bore throwing element velocity measurement will allow:

- to increase the reliability of diagnostics and operational control of technical condition of weapon and, as a result, to reduce the probability of using of the faulty weapons;
- to establish the dependence between the pressure of powder gases and the velocity of throwing element in different sections of the bore in the function of path (time) and, thus, to increase the accuracy of solving of the direct problem of internal ballistics;
- to predict the technical condition of some samples of the main types of weapons on the basis of the research of their characteristics drift in time and in working hours;
- to obtain the clarified original data about the nature of the internal ballistic processes in order to design, upgrade and improve the construction of the main types of weapons;
- to provide the possibility of investigation and optimization of the characteristics of the prototypes of weapons during their tests.

### References

1. Голомбовский, А. К. Теория и расчет автоматического оружия [Текст] / А. К. Голомбовский. – Пенза : ПВАИУ, 1973. – 492 с.
2. Кириллов, В. М. Основы устройства и проектирования стрелкового оружия [Текст] / В. М. Кириллов и др. – Пенза : ПВАИУ, 1963. – 342 с.
3. Серебряков, М. Е. Внутренняя баллистика [Текст] / М. Е. Серебряков. – М. : Оборониздат ГИОП, 1949. – 469 с.
4. Анипко, А. Б. Внутренняя баллистика ствольных систем при применении боеприпасов длительных сроков хранения [Текст] : монография / О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк. – Х. : Акад. ВВ МВД Украины, 2010. – 128 с.
5. Наказ про затвердження “Інструкції про порядок виготовлення, придбання, зберігання, обліку, перевезення та використання вогнепальної, пневматичної і холодної зброї, пристроїв вітчизняного виробництва для відстрілу патронів, споряджених гумовими чи аналогічними за своїми властивостями металевими снарядами несмертельної дії, та зазначених патронів, а також боеприпасів до зброї та вибухових матеріалів” від 16.03.2012 № 207 [Копія] / МВС України. – К.
6. Ермолова, С. И. Таблицы внутренней баллистики [Текст] / С. И. Ермолова, В. Е. Слухоцкий. – ч. 1. – М. : Воениздат, 1948. – 448 с.
7. Медведева, Н. П. Экспериментальная баллистика [Текст] : учеб. пособие / Н. П. Медведева. – Томск : Томский ун-т, 2006. – ч. 1. : Методы измерения давления. – 172 с.
8. Шкворников, П. Н. Экспериментальная баллистика. Приборы и методы баллистических измерений [Текст] / П. Н. Шкворников, Н. М. Платонов. – М. : Оборонгиз, 1953. – 392 с.
9. Ринкевичюс, Б. С. Лазерная анемометрия [Текст] / Б. С. Ринкевичюс. – М. : Энергия, 1976. – 159 с.
10. Ринкевичюс, Б. С. Методы лазерной доплеровской анемометрии [Текст] / Б. С. Ринкевичюс, Ю. Н. Дубнищев. – М. : Наука, 1982. – 304 с.

*Стаття надійшла до редакції 24.05.2013 р.*



УДК 378.147: 621.391

В. Є. Козлов, О. О. Новикова

## ОПИС ШКАЛ ПЕДАГОГІЧНОЇ КВАЛІМЕТРІЇ МЕТОДАМИ НЕЧІТКОЇ МАТЕМАТИКИ

*Розглянуто формалізований опис шкал педагогічної кваліметрії методами нечіткої математики, який може бути використаний у реалізації інформаційних технологій експертного оцінювання.*

*К л ю ч о в і с л о в а: інформаційні технології, нечітка математика, експертний метод, педагогічна кваліметрія.*

**Постановка проблеми та аналіз публікацій.** Методи нечіткої математики [1; 2; 3] знаходять широке застосування у різних галузях науки і техніки, де використовують експертне оцінювання для виконання завдань, наприклад, професійного відбору. Одним з найбільш поширених понять цього розділу математики є “лінгвістична змінна” (ЛЗ) – набір

$$\langle \beta, T, X, G, M \rangle, \quad (1)$$

де  $\beta$  – найменування змінної;  $T$  – множина термів (значень ЛЗ), тобто найменувань нечітких змінних, які задають семантику термів і використовуються для формалізації;  $X$  – універсальна множина;  $G$  – синтаксичне правило генерації елементів терм-множини  $T$ , тобто критерії прийняття рішення щодо відповідності терму одній з нечітких змінних;  $M$  – множина функцій належності  $\mu(x)$  для кожного з термів ЛЗ, тобто семантичне правило, яке ставить у відповідність кожному терму деяку нечітку змінну на універсальній множині  $X$ .

У [4] наведено приклад опису ЛЗ  $\beta_{ШХ}$  “Експертна оцінка за шкалою Харрінгтона” і графічні інтерпретації відповідних функцій належності (множини  $M$ ), що формалізують терми  $T$  цієї ЛЗ. Відмічено, що відповідні оцінки експерт виставляє для деякої визначеної ознаки методом приписування балів (із універсальної множини  $X$ ). Критерії для цього (множина  $G$ ) не визначені і віддаються на розсуд експерта. Тому фактично лінгвістична змінна  $\beta_{ШХ}$  із виразу (1) теж не визначена.

Педагогічна кваліметрія у процесі оцінювання знань, умінь та навичок суб’єктів навчання (СН) оперує шкалами порядку: чотирибальною, десятибальною, дванадцятибальною, рейтинговою, стобальною, ECTS-шкалою. Їх опис, аналогічний виразу (1), у друкованих та електронних джерелах відсутній. Саме це обумовлює **актуальність і мету статті** – формалізувати опис шкал педагогічної кваліметрії методами нечіткої математики.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі [5] розглянуто можливість використання чотирибальної шкали для експертного оцінювання якостей особистості відповідно до професіограми – переліку професійно значимих ознак. Безперечною перевагою цієї шкали є чітко визначені критерії виставлення балів (оцінок визначеної ознаки) як відповідь на запитання типу: “в наявності у кандидата визначена ознака (якість)?”, тобто описані значення  $G$  та  $X$  із набору (1).

Введемо опис відповідної лінгвістичної змінної  $\beta_{ЧШ}$  “Експертна оцінка за чотирибальною шкалою”, аналогічний розглянутому в роботі [5]. У **табл. 1** наведений опис ЛЗ, а на **рис. 1** – графічна інтерпретація функцій належності, які формалізують терми цієї ЛЗ.

У **табл. 2** наведений опис ЛЗ  $\beta_{ЧШ1}$  “Експертна оцінка за чотирибальною шкалою”, отриманий з урахуванням припущення, що похибка визначення кожного бала не перевищує ту, яка допускається при окомірному вимірюванні. На **рис. 2** наведені графічні інтерпретації функцій належності, що формалізують терми цієї ЛЗ.

Для чотирибальної шкали в педагогічній кваліметрії чітко й однозначно прописані критерії виставлення відповідних балів як відповіді на запитання: “збігається відповідь суб’єкта навчання з еталонною?”. Так – 5 балів; скоріше так, чим ні – 4 бали; скоріше ні, чим так – 3 бали; ні – 2 бали, тобто описані значення  $G$  та  $X$  із набору (1).

Таблиця 1

ЛЗ  $\beta_{\text{чш}}$  “Експертна оцінка за чотирибальною шкалою”

Терм	Характеристична функція належності	X
$T_2 = \{\text{“незадовільно”}\}$	$\mu_{Q_2}(x) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } 2 \leq x < 2,5; \\ 0, \text{ якщо } 2,5 \leq x < 5. \end{cases}$	2
$T_3 = \{\text{“задовільно”}\}$	$\mu_{Q_3}(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 2 \leq x < 2,5; \\ 1, \text{ якщо } 2,5 \leq x < 3,5; \\ 0, \text{ якщо } 3,5 \leq x < 5. \end{cases}$	3
$T_4 = \{\text{“добре”}\}$	$\mu_{Q_4}(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 2 \leq x < 3,5; \\ 1, \text{ якщо } 3,5 \leq x < 4,5; \\ 0, \text{ якщо } 4,5 \leq x < 5. \end{cases}$	4
$T_5 = \{\text{“відмінно”}\}$	$\mu_{Q_5}(x) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } 4,5 \leq x < 5; \\ 0, \text{ якщо } 2 \leq x < 4,5. \end{cases}$	5

Таблиця 2

ЛЗ  $\beta_{\text{чш}}$  “Експертна оцінка за чотирибальною шкалою”

Терм	Характеристична функція належності	X
$T_2 = \{\text{“незадовільно”}\}$	$\mu_{Q_2}(x) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } 2 \leq x < 2,4; \\ 12,75 - 4,90x, \text{ якщо } 2,4 \leq x < 2,6; \\ 0, \text{ якщо } 2,6 < x \leq 5. \end{cases}$	2
$T_3 = \{\text{“задовільно”}\}$	$\mu_{Q_3}(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 2 \leq x < 2,4; \\ 4,90x - 11,75, \text{ якщо } 2,4 < x \leq 2,6; \\ 1, \text{ якщо } 2,6 < x \leq 3,4; \\ 17,65 - 4,90x, \text{ якщо } 3,4 < x < 3,6; \\ 0, \text{ якщо } 3,6 < x \leq 5. \end{cases}$	3
$T_4 = \{\text{“добре”}\}$	$\mu_{Q_4}(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 2 \leq x < 3,4; \\ 4,90x - 16,65, \text{ якщо } 3,4 < x \leq 3,6; \\ 1, \text{ якщо } 3,6 < x \leq 4,4; \\ 22,55 - 4,90x, \text{ якщо } 4,4 < x < 4,6; \\ 0, \text{ якщо } 4,6 < x \leq 5. \end{cases}$	4
$T_5 = \{\text{“відмінно”}\}$	$\mu_{Q_5}(x) = \begin{cases} 0, \text{ якщо } 2 \leq x < 4,4; \\ 4,90x - 21,55, \text{ якщо } 4,4 \leq x < 4,6; \\ 1, \text{ якщо } 4,6 < x \leq 5. \end{cases}$	5

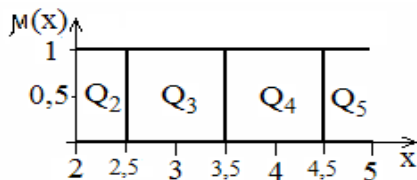


Рис. 1

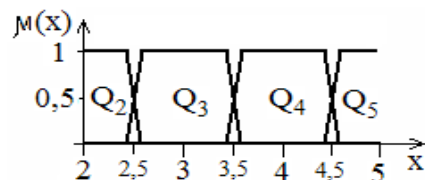


Рис. 2

Аналогічно описана усереднена чотирибальна шкала (див. табл. 3 та рис. 3). Таку шкалу можна застосовувати за таких припущень:

– оцінки кожного з СН усереднюються із залишенням декількох (двох) цифр після коми, що відповідає відомому з метрології методу ноніуса [6]; зауважимо, що середнє арифметичне використовують для шкал порядку у випадку, якщо оцінки подані числовими значеннями в просторі невеликої розмірності (1–3) з максимально можливим збереженням відстаней між точками, а результати отримані для великих обсягів вибірок [7];

Таблиця 3

ЛЗ  $\beta_{учш}$  "Експертна оцінка за національною усередненою шкалою"

Терм	Характеристична функція належності	X
$T_{2-3} = \{\text{"незадовільно-задовільно"}\}$	$\mu_{Q_{2-3}}(x) = \begin{cases} 1 -  (x-2) , & \text{якщо } 2 \leq x \leq 3; \\ 0, & \text{якщо } 3 < x \leq 5. \end{cases}$	2,00-3,00
$T_{2-4} = \{\text{"незадовільно-задовільно-добре"}\}$	$\mu_{Q_{2-4}}(x) = \begin{cases} 1 -  (x-3) , & \text{якщо } 2 \leq x \leq 4; \\ 0, & \text{якщо } 4 < x \leq 5. \end{cases}$	2,00-4,00
$T_{3-5} = \{\text{"задовільно-добре-відмінно"}\}$	$\mu_{Q_{3-5}}(x) = \begin{cases} 1 -  (x-4) , & \text{якщо } 3 \leq x \leq 5; \\ 0, & \text{якщо } x \leq 3. \end{cases}$	3,00-5,00
$T_{4-5} = \{\text{"добре-відмінно"}\}$	$\mu_{Q_{4-5}}(x) = \begin{cases} 0, & \text{якщо } x \leq 4; \\ 1 -  (x-5) , & \text{якщо } 4 < x \leq 5. \end{cases}$	4,00-5,00

– отримані значення оцінок неперервні в обмеженому діапазоні, і як характеристику серединного положення можна використовувати також медіану, яка існує тільки для неперервних випадкових величин [8]; у такому випадку можливо, не змінюючи критеріїв прийняття рішень, використовувати оцінки типу  $2^+$  або  $4^-$ , які при обробленні замінюють на оцінки 2,33 або 3,66 відповідно.

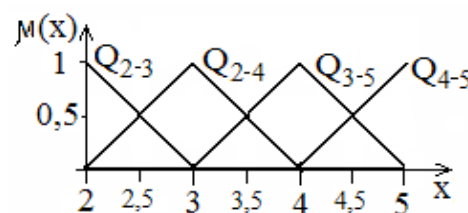


Рис. 3

Опис десятибальної та дванадцятибальної шкал методами нечіткої математики неможливий через те, що критерії виставлення відповідних балів (множини G) взагалі не визначені. Тому фактично лінгвістичні змінні за набором (1) теж не визначаються.

Вимога застосування стобальної рейтингової шкали (РШ) та зв'язаної з нею ECTS-шкали в практиці вищої школи передбачає, поза сумнівом, наявність їх опису методами нечіткої математики.

З погляду на графічні інтерпретації функцій належності, що формалізують терми цих ЛЗ аналогічно до  $\beta_{чш}$  і  $\beta_{шш}$  (рис. 4 та 5), такий опис ускладнений з двох причин:

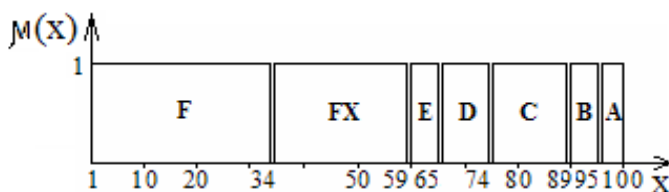


Рис. 4

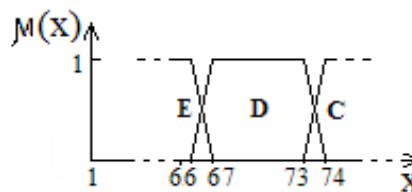


Рис. 5

1) між всіма оцінками РШ пропущено по одному балу (рис. 4), що для шкал порядку неприпустимо, проте, цей недолік нескладно усунути (фрагмент на рис. 5);

2) критерії виставлення відповідних балів визначені для інтервалів (1 – 35, 35 – 60, ..., 96 – 100) і віддаються на розсуд експерта, тому фактично лінгвістичні змінні за набором (1) теж не визначаються.

За ймовірно-інформаційним підходом [9; 10] оцінка для будь-якої L-бальної шкали визначається як

$$Q_L = N_n + \log_2[-2^N / ((2^N - 1)q - 2^N)], \quad (2)$$

де  $N_n$  – початкова відмітка шкали;  $N = N_k - N_n$  – довжина шкали;  $N_k$  – кінцева відмітка шкали;  $q = 0 \dots 1$  – частка повернутої суб'єктом навчання при оцінюванні (опитуванні, тестуванні тощо) інформації.

Оцінка для чотирибальної шкали:

$$Q_4 = 2 + \log_2[-8 / (7q - 8)]. \quad (3)$$

За формулою (3) отримано номограму (див. рис. 6), що зв'язує результати оцінювання знань суб'єктів навчання за усередненою чотирибальною, рейтинговою стобальною та ECTS шкалами.

	F				FX		E	D	C	B
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	2,00	2,13	2,28	2,44	2,62	2,83	3,07	3,37	3,74	4,23
1	2,01	2,15	2,29	2,46	2,64	2,85	3,10	3,40	3,78	4,30
2	2,03	2,16	2,31	2,47	2,66	2,88	3,13	3,43	3,82	4,36
3	2,04	2,17	2,32	2,49	2,68	2,90	3,16	3,47	3,87	4,42
4	2,05	2,19	2,34	2,51	2,70	2,92	3,18	3,50	3,92	4,49
5	2,06	2,20	2,36	2,53	2,72	2,95	3,21	3,54	3,96	4,57
6	2,08	2,22	2,37	2,55	2,74	2,97	3,24	3,58	4,01	4,64
7	2,09	2,23	2,39	2,56	2,76	3,00	3,27	3,62	4,07	4,72
8	2,10	2,25	2,41	2,58	2,79	3,02	3,30	3,66	4,12	4,81
9	2,12	2,26	2,42	2,60	2,81	3,05	3,34	3,70	4,18	4,90
	F				FX	E	D	C	B	A

Рис. 6

Зв'язок усередненої чотирибальної шкали з десятибальною та дванадцятибальною шкалами наведений у [10].

### Висновки

Наявність опису лінгвістичних змінних для чотирибальної  $\beta_{чш}$  та усередненої чотирибальної  $\beta_{уцш}$  шкал методами нечіткої математики дозволяє використовувати методи оброблення нечітких змінних для отримання чітких значень оцінок суб'єктів навчання або інших суб'єктів експертного оцінювання.

Можливість зіставлення оцінок, отриманих за різними шкалами, з чотирибальними дає змогу використовувати чотирибальні шкали для оцінювання різних складників якостей особистості кандидатів, таких як психофізіологічні, фізичні, інтелектуальні тощо у професійному відборі.

Формалізований опис шкал педагогічної кваліметрії методами нечіткої математики може бути використаний у реалізації інформаційних технологій експертного оцінювання в будь-якій галузі.

### Список використаних джерел

1. Борисов, А. Н. Обработка нечеткой информации в системах принятия решений [Текст] / А. Н. Борисов, А. В. Алексеев, Г. В. Меркурьев. – М. : Радио и связь, 1989. – 304 с.
2. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [Текст] : пер. с англ. / А. Пегат. – М. : БИНОМ, 2009. – 798 с.
3. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. – М. : Радио и связь, 1989. – 316 с.
4. Горелишев, С. А. Теоретико-множинний метод професійного відбору [Текст] / С. А. Горелишев, О. Ю. Іохов, О. О. Новикова // Системи обробки інформації. – 2011. – Вип. 2(92). – С. 188–190.
5. Козлов, В. Є. Методика рейтингового оцінювання для експертного застосування [Текст] / В. Є. Козлов, В. Т. Оленченко, І. О. Юзьков // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2009. – Вип. 4 (12). – С. 69–74.
6. Шишкин, И. Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством [Текст] / И. Ф. Шишкин. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 343 с.
7. Орлов, А. И. Эконометрика [Текст] / А. И. Орлов. – М. : Экзамен, 2002. – 442 с.
8. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М. : Высш. шк., 1998. – 576 с.
9. Белокурський, Ю. П. Рейтингове оцінювання – імовірно-інформаційний підхід [Текст] / Ю. П. Белокурський, В. Є. Козлов, І. О. Юзьков // зб. тез доповідей наук.-практ. конф., 17–18 берез. 2009 р. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2009. – С. 40.
10. Козлов, В. Є. Модель подання оцінних функцій викладача [Текст] / В. Є. Козлов, В. Т. Оленченко, І. О. Юзьков // Системи обробки інформації. – 2009. – Вип. 6 (80). – С. 233–236.

Стаття надійшла до редакції 19.02.2013 р.

УДК 355.40

О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк, И. Ю. Бирюков

## МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА БРОНЕТАНКОВОГО ВООРУЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

*В статье рассмотрена модель функционирования комплекса бронетанкового вооружения на основе дискретных цепей Маркова.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* процесс функционирования танкового вооружения, циклограмма подготовки стрельбы, граф аналитической модели использования бронетанковой техники, матрица переходов.

**Постановка проблемы.** В процессе создания перспективных образцов вооружения необходимость разработки новых и развития известных методов моделирования стимулируется непрерывным возрастанием сложности, масштабности, комплексности существующих проблем, связанных с повышением эффективности применения имеющихся технических средств и вооружения.

До сравнительно недавнего времени поиски в основном сводились к созданию специального математического обеспечения управления вооруженными силами, анализу и оценке возможных вариантов решения задач, выбору оптимального из них и на его основе планированию боевой операции [1–4]. Однако такой уровень уже не удовлетворяет требованиям стремительно развивающейся динамики теории вооруженной борьбы в целом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На современном этапе задачи моделирования в целостной теории вооруженной борьбы стоят гораздо шире и могут быть охарактеризованы двумя фундаментальными направлениями [2].

1. Единая фундаментальная теория вооруженной борьбы, объектом исследования которой является прогнозирование на основе моделей взаимного воздействия противоборствующих сторон в процессе их целенаправленной деятельности.

2. Теория боевых систем – как фундамент для непосредственного моделирования с точки зрения единой системной методикой, объектом исследования которой являются боевые системы как целостные комплексы оружия и технических средств.

В отечественной научно-технической литературе публикации по этой проблематике весьма немногочисленны [2–6]. По-видимому это связано с отсутствием официального концептуального видения боевой системы будущего, как для Вооруженных Сил Украины в целом (по аналогии с Future Combat System FCS), так и тактического звена Сухопутных войск в частности.

**Цель статьи** – смоделировать функционирование комплекса бронетанкового вооружения с применением аппарата дискретных цепей Маркова совместно с положениями теории массового обслуживания.

**Изложение основного материала.** Предположим, что в зону обслуживания одним объектом бронетанковой техники (БТТ) поступает пуассоновский поток целей с параметром  $\lambda_c$ . Из общего числа обнаруженных целей  $S$  обслуживается одна, при этом время обслуживания одной цели представляет собой случайную величину, которая описывается функцией распределения

$$B(t) = 1 - e^{-M_z t}, \quad (1)$$

где  $M_z > 0$ .

Если в момент окончания обслуживания очередной цели имеется хотя бы одна цель из числа обнаруженных и идентифицированных, то объект БТТ немедленно переходит к ее обслуживанию. Если целей нет, то система находится в состоянии поиска новых целей и активизируется при поступлении их в зону поиска.

Таким образом, состояние системы определяется числом целей  $i$ , связанных с нею. Цель называется связанной, если она обнаружена, обслуживается или ожидает обслуживания в очереди [7–10].

Число целей  $S$ , стоящих в очереди на обслуживание, может быть сколь угодно большим. Поэтому в общем случае система имеет бесконечно большое число состояний. Тогда процесс функционирования БТТ может быть представлен в виде графа (см. рис. 1).

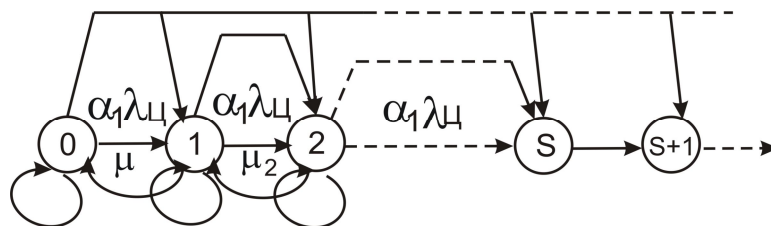


Рис. 1. Общий случай функционирования вооружения БТТ при бесконечном числе целей и неограниченной пропускной способности

Модель, представленная таким образом, не может быть непосредственно использована для моделирования функционирования вооружения БТТ в связи со следующими положениями.

1. Технические характеристики системы управления огнем, прицельно-дальномерного комплекса, механизма заряжания, механизмов пушки, боеприпаса определяют пропускную способность рассматриваемой системы.

2. Время обслуживания одной цели зависит от ее относительного положения и дальности до нее (в пределах прямого выстрела).

3. Различные цели определяют свои значения насыщения для системы. Насыщение системы определяется количеством боеприпасов 1-й очереди и, при вероятности попадания при выстреле  $P \rightarrow 1$ , не может быть больше числа боеприпасов, даже с учетом различных типов боеприпасов в боекомплекте. Таким образом, насыщение системы представляет собой относительную величину.

Учитывая эти положения, рассмотрим модель функционирования бронетанкового вооружения, содержащую следующие состояния.

0.  $E_{исх}$  – исходное состояние, объект БТТ находится на поле боя, все системы и механизмы комплекса вооружения включены.

1.  $E_{поиск}$  – поиск целей всеми возможными средствами поиска (зависит от типа объекта БТТ и имеющихся технических средств).

2.  $E_{обн}$  – цель обнаружена командиром, проидентифицирована, выдано целеуказание наводчику.

3.  $E_{навод}$  – цель взята на обслуживание наводчиком.

4.  $E_{тех}$  – техническая подготовка выстрела (измерение дальности, выбор боеприпаса, заряжание).

5.  $E_{уточн}$  – уточнение наводки прицельной марки на цель.

6.  $E_{выстр}$  – осуществление процесса выстрела, боеприпас покинул ствол.

7.  $E_{пор}$  – цель поражена.

8.  $E_{н.п.}$  – цель не поражена.

Граф переходов цели состояний представлен на рис. 2.

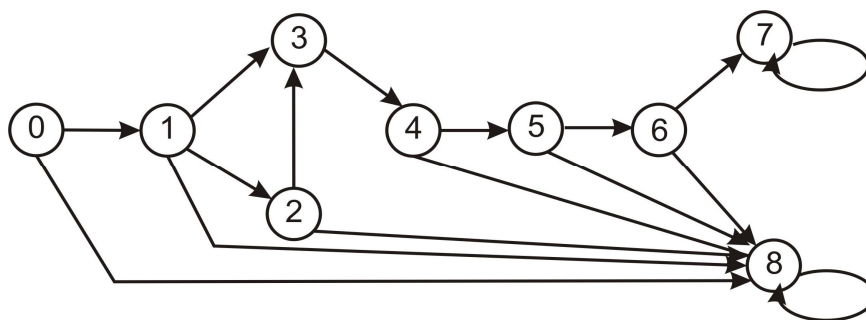


Рис. 2. Граф переходов модели функционирования танкового вооружения

Модель, построенная таким образом, не обладает марковскими свойствами, поскольку переход в последующее состояние с учетом особенностей системы, перечисленных выше, зависит не только от самих состояний, а и от времени пребывания в предыдущих состояниях и от количества обслуженных целей.

В связи с этим состояния цели должны быть доопределены так, чтобы модель соответствовала марковским свойствам.

Цель может быть обнаружена, но не может быть обслужена, если номер текущей цели  $i$  превышает соответствующее число боеприпасов  $B_i^1$ , т. е.

$$i > B_i^1. \quad (2)$$

Также цель может быть обнаружена, если она находится в пределах радиуса  $R_{обн.}$  (рис. 3)

$$D \leq R_{обн.}, \quad (3)$$

где  $R_{обн.}$  – дальность обнаружения.

С другой стороны, если  $R_{обн.} = \text{const}$ , а рассматриваемая система и цель движутся со скоростями  $V$  и  $V_{в.н.}$ , то и в общем случае для фиксированного момента времени

$$D = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \quad (4)$$

где  $\Delta X = (V^X + V_{в.н.}^X) \cdot \tau$ ;  $\Delta Y = (V^Y + V_{в.н.}^Y) \cdot \tau$ .

На рис. 3 приведена схема функционирования танкового вооружения, где  $R_{стр}^{бал}$  – стрельба с использованием танкового баллистического вычислителя;  $R_{стр}^{пв}$  – дальность прямого выстрела;  $\alpha$  – угол поля зрения оптического прибора.

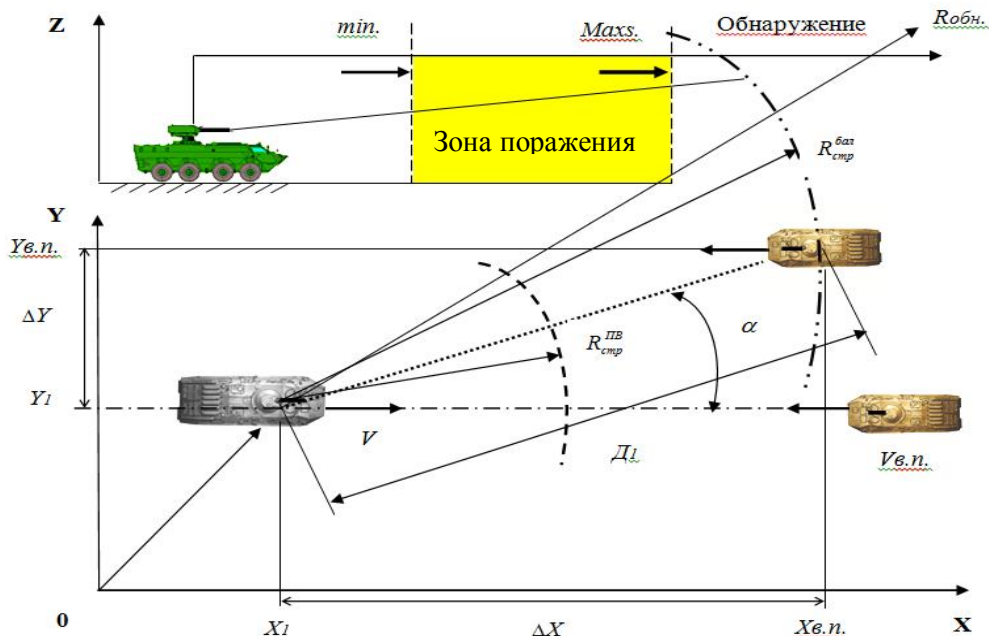


Рис. 3. Схема функционирования бронетанкового вооружения

Рассчитывая вероятности переходов, целесообразно ввести следующие величины. Случайное значение дальности до цели  $D_1$  в момент ее обнаружения:

$$D_1 = \sqrt{\Delta X_1^2 + \Delta Y_1^2}, \quad (5)$$

где

$$\Delta X_1 = X_{исх}^{в.н.} - (V^X + V_{в.н.}^X) \cdot \tau_{обн.}; \quad (6)$$

$$\Delta Y_1 = Y_{исх}^{в.н.} - (V^Y + V_{в.н.}^Y) \cdot \tau_{обн.}, \quad (7)$$

$\tau_{обн.} = t_1 - t_0$ ;  $X_{исх}^{в.н.}$ ;  $Y_{исх}^{в.н.}$  – координаты цели в исходном положении;  $t_1$  – момент обнаружения цели.

Дальность до цели  $D_2$  в момент выдачи целеуказания наводчику  $t_2$  определяется временем идентификации цели  $\tau_{ид}$ , временем предварительного определения дальности  $\tau_D^{предв}$  и временем принятия решения  $\tau_{реш}$ .

Тогда для абсциссы:

$$\Delta X_2 = \Delta X_1 - (V^X + V_{в.н.}^X)(\tau_{ид} + \tau_D^{предв} + \tau_{реш}); \quad (8)$$

$$t_2 = t_1 + \tau_{ид} + \tau_D^{предв} + \tau_{реш}.$$

Для  $\Delta Y_2$  определяется аналогично.

Дальность до цели в момент обнаружения цели наводчиком будет зависеть от случайного направления линии визирования прицела наводчиком, при этом время целеуказания  $\tau_{цв}$  будет равно времени переброса линии визирования в горизонтальной  $\tau_{Г.Н.}$  или вертикальной  $\tau_{В.Н.}$  плоскости, при этом модельное время целеуказания будет большим из двух величин:

$$\tau_{В.Н.} = \frac{\alpha_{пуш}}{\omega_{В.Н.}}; \quad \tau_{Г.Н.} = \frac{\beta_{баш}}{\omega_{Г.Н.}},$$

где  $\omega_{Г.Н.}$  и  $\omega_{В.Н.}$  – перебросочные скорости в горизонтальной и вертикальной плоскостях.

Тогда для абсциссы:

$$\Delta X_3 = \Delta X_2 - (V^X + V_{в.н.}^X) \max[\tau_{В.Н.}; \tau_{Г.Н.}]. \quad (9)$$

$\Delta Y_3$  определяется аналогично.

Дальность до цели в момент наведения на цель  $D_4$  будет определяться случайным временем измерения дальности  $\tau_D^{изм}$ , временем выбора боеприпаса  $\tau_{Б.П.}$ , временем приведения пушки на угол заряжания  $\tau_{У.З.}$ , временем подачи выстрела на зарядание  $\tau_{под}$ , временем заряжания, временем возвращения пушки в направление на цель  $\tau_{возв}$ :

$$\Delta X_4 = \Delta X_3 - (V^X + V_{в.н.}^X)(\tau_D^{изм} + \tau_{Б.П.} + \tau_{У.З.} + \tau_{под} + \tau_{зар.} + \tau_{возв}). \quad (10)$$

Для  $\Delta Y_4$  определяется аналогично.

Дальность до цели в момент уточнения и наводки:

$$\Delta X_5 = \Delta X_4 - (V^X + V_{в.н.}^X)\tau_{уточ}. \quad (11)$$

Для  $\Delta Y_5$  определяется аналогично.

Координата цели в момент выстрела определяется случайным временем  $\tau_{снр}$ , затрачиваемым наводчиком на сопровождение цели (не менее 2 с) и принятие решения на выстрел:

$$\Delta X_6 = \Delta X_5 - (V^X + V_{в.н.}^X)\tau_{снр}. \quad (12)$$

Для  $\Delta Y_6$  определяется аналогично.

Координата встречи боеприпаса с целью определяется временем полета снаряда  $\tau_{снр}$  и его скоростью, причем  $V$  и  $V_{Б.П.} \ll V_{снр}$ , поэтому:

$$\Delta X_7 = \Delta X_6 - (V_{в.н.}^X + V_{снр.}^X)\tau_{снр}. \quad (13)$$

Чтобы определить численные значения вероятностей переходов, следует определить законы распределения случайных величин. Учитывая, что на каждую из этих величин в реальных условиях влияет большое число факторов, в том числе и уровень подготовки экипажа, можно принять нормальный закон распределения этих величин.



Составим аналитические выражения для вероятностей перехода системы из одного состояния в другое.

Вероятность перехода  $W_{01}$  из исходного состояния в состояние  $E_{поиск}$  зависит от исправного функционирования всех систем и равна:

$$W_{01} = P_{\phi}, \quad (14)$$

$$W_{01.н.п.} = 1 - W_{01}. \quad (15)$$

Вероятность поиска зависит от вероятности того, что цель находится в радиусе обнаружения, и вероятности обнаружения цели  $P_{обн}$ :

$$W_{12} = P_{обн} \cdot P(D_{ц} \leq R_0). \quad (16)$$

Соответственно:

$$W_{12.н.п.} = 1 - W_{12}. \quad (17)$$

Вероятность перехода  $W_{23}$  из состояния обнаружения  $E_{обнар}$  в состояние  $E_{навед}$  зависит от вероятности обнаружения  $P_{обн}^{нав}$  (наводчик также видит цель) и того, что в это время  $D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}$ :

$$W_{нав} = P_{обн}^{нав} P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right). \quad (18)$$

Вероятность  $W_{нав}$  дополняет  $W_{нав.н.п.}$  до 1:

$$W_{нав.н.п.} = 1 - W_{нав}. \quad (19)$$

Вероятность перехода  $W_{tex}$  из состояния  $E_{нав}$  в состояние  $E_{tex}$  определяется вероятностью достоверного измерения дальности наводчиком  $P_{Д_{дост}}$ , вероятностью нахождения в зоне стрельбы  $P\left(D \leq [R_{стр}]_{\max}\right)$ , вероятностью работоспособности механизма зажигания  $P_{МЗ}$ , вероятностью наличия боеприпаса требуемого типа  $P_{бп}$ :

$$W_{tex} = P_{Д_{дост}} P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right) \cdot P_{МЗ} P_{бп}. \quad (20)$$

Вероятность  $W_{tex}$  дополняет вероятность  $W_{tex.н.п.}$  до 1:

$$W_{tex.н.п.} = 1 - W_{tex}. \quad (21)$$

Вероятность перехода  $W_{уточ.н.}$  из состояния  $E_{tex}$  в состояние  $E_{уточ.н.}$  определяется вероятностью уточнения наводки с допустимой погрешностью, вероятностью удержания прицельной марки на цели с допустимой погрешностью и вероятностью того, что цель находится в зоне стрельбы  $P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right)$ :

$$W_{уточ.н.} = P_{уточ.н.} P_{удер.} P\left(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}\right).$$

Эта вероятность дополняет вероятность  $W_{стаб.ц.н.п.}$  до 1:

$$W_{стаб.ц.н.п.} = 1 - W_{стаб.ц.} \quad (22)$$

Вероятность перехода  $W_{выстр}$  из состояния  $E_{уточ.н.}$  в состояние  $E_{выстр}$  определяется исправностью цепей стрельбы и механического спуска  $P_{tex}^{стр}$  и кондиционностью боеприпаса  $P_{б.н}^{конд}$ , а также

вероятностью нахождения цели в радиусе стрельбы  $P(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max})$  и вероятностью нахождения пушки в зоне разрешения выстрела  $P_{ЗРВ}$ :

$$W_{выстр} = P_{техн}^{стр} \cdot P_{б.п.}^{конд} \cdot P(D_{ц} \leq [R_{стр}]_{\max}) \cdot P_{ЗРВ}.$$

Эта вероятность также дополняет вероятность  $W_{выстр.н.п.}$  до 1:

$$W_{выстр.н.п.} = 1 - W_{выстр}. \quad (23)$$

Вероятность в состоянии “цель поражена” определяется вероятностью попадания  $P_{попад}$ :

$$W_{пораж} = P_{попад}. \quad (24)$$

Эта вероятность и вероятность непоражения составляют полную систему событий, поэтому:

$$W_{н.п.} = 1 - W_{пораж}.$$

Таким образом, вероятность поражения должна зависеть и от нахождения цели в зоне стрельбы, однако, учитывая существенно более высокую скорость снаряда, будем считать, что за время подлета после выстрела цель не успевает покинуть зону стрельбы.

Кроме того, после попадания цель может находиться в двух состояниях: “повреждена”, “не повреждена”. Повреждение может быть классифицировано как “выведена из строя”, “уничтожена”. Ущерб, наносимый противнику, не рассматривается, так как настоящая статья по своей направленности имеет технический характер.

Матрица вероятностей переходов с уже описанным приемом избегания самопоглощающих состояний путем введения параметра  $\alpha$  представлена в **таблице**.

Т а б л и ц а

*Матрица вероятностей переходов*

	$E_0$	$E_1$	$E_2$	$E_3$	$E_4$	$E_5$	$E_6$	$E_7$	$E_8$
$E_0$		$W_{01}$							$W_{08}$
$E_1$			$W_{12}$	$W_{13}$					$W_{18}$
$E_2$				$W_{23}$					$W_{28}$
$E_3$					$W_{34}$				$W_{38}$
$E_4$						$W_{45}$			$W_{48}$
$E_5$							$W_{56}$		$W_{58}$
$E_6$								$W_{67}$	$W_{68}$
$E_7$	$\alpha$							$1-\alpha$	
$E_8$	$\alpha$								$1-\alpha$

Используя преобразования, получены выражения для вероятности поражения  $W_{пор}$  и непоражения цели  $W_{н.пор}$  через вероятности переходов:

$$W_{пор} = (W_{01}W_{13} + W_{01}W_{12}W_{23})W_{34}W_{45}W_{56}W_{67}; \quad (25)$$

$$W_{н.пор} = 1 - W_{пор} = 1 - (W_{01}W_{13} + W_{01}W_{12}W_{23})W_{34}W_{45}W_{56}W_{67}, \quad (26)$$

которые совместно с выражениями (5–13) позволяют проводить параметрические исследования и определять ТТХ бронетанкового вооружения и влияние различных внешних факторов на эффективность его применения.

Вероятность обнаружения цели является одной из ключевых величин в моделях функционирования БТТ. Этой задаче всегда уделялось огромное внимание [11–15], поскольку необнаруженная цель не только не может быть поражена бронетанковым вооружением, но и представляет большую опасность.

## **Выводы**

Приведенная модель может быть отнесена к начальному уровню с последующим ее развитием и насыщением информации о подсистемах. Также могут быть использованы и дополнительные, так называемые вложенные модели, которые более детально рассматривают функционирование отдельных подсистем. В дальнейшем это будет показано при расчете ошибок в координатах целей, определяемых перспективным комплексом разведки БТГ с дополнительной оптико-акустической подсистемой выявления наземных неподвижных целей.

## **Список использованных источников**

1. Абчук, В. А. Поиск объектов [Текст] / В. А. Абчук, В. Г. Суздаль. – М. : Сов. радио, 1977. – 336 с.
2. Анипко, О. Б. Концептуальное проектирование объектов бронетанковой техники [Текст] : монография / О. Б. Анипко, М. Д. Борисюк, Ю. М. Бусяк. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2008. – 196 с.
3. Борисюк, М. Д. Модернизация танкового парка сухопутных войск – насущная задача в процессе реформирования Вооруженных Сил Украины [Текст] / М. Д. Борисюк, Ю. М. Бусяк, Л. К. Магерамов // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2005. – № 2. – С. 101–104.
4. Бусяк, Ю. М. От конкуренции – к интеграции: перспективные направления сотрудничества со странами НАТО в области бронетанковых и артиллерийских систем вооружения [Текст] / Ю. М. Бусяк, О. Б. Анипко, В. В. Заозерский // Збірник наукових праць ХУПС. – 2006. – Вып. 2(8). – С. 37–39.
5. Аніпко, О. Б. Акустичні властивості атмосфери [Текст] / О. Б. Аніпко, І. Ю. Бірюков, М. М. Дивізійнюк // Сборник научных трудов СНУЯЕ и П. – 2010. – Вып. № 4 (36). – С. 239–244.
6. Анипко, О. Б. Звуковые портреты объектов бронетехники для обнаружения и распознавания целей [Текст] / О. Б. Анипко, И. Ю. Бирюков, Ю. М. Бусяк // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2011. – № 3. – С. 31–36.
7. Раскин, Л. Г. Оценивание параметров марковских моделей функционирования сложных систем [Текст] / Л. Г. Раскин. – М. : Научный совет по комплексной проблеме “Кибернетика”, 1980. – С. 143–145.
8. Горбунов, В. А. Эффективность обнаружения целей [Текст] / В. А. Горбунов. – М. : Воениздат, 1979. – 160 с.
9. Костенко, Ю. Т. Прогнозирование технического состояния систем управления [Текст] / Ю. Т. Костенко, Л. Г. Раскин. – Х. : Основа, 1996. – 303 с.
10. Раскин, Л. Г. Математическое моделирование функционирования сложных систем [Текст] / Л. Г. Раскин. – Х. : ВИРГА, 1988. – 178 с.
11. Анипко, О. Б. Комплексная проблема поиска и обнаружения наземных целей для их поражения вооружением, установленным на объектах бронетехники [Текст] / О. Б. Анипко, И. Ю. Бирюков, Ю. М. Бусяк // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2011. – Вып. № 2(18). – С. 43–47.
12. Анипко, О. Б. Энергетическая дальность обнаружения шумящих объектов [Текст] / О. Б. Анипко, И. Ю. Бирюков, В. А. Малик // Сборник научных трудов СНУЯЭ и П. – 2011. – Вып. № 1(37). – С. 231 – 236.
13. Анипко, О. Б. Модель разведки противника для повышения технических характеристик системы управления огнем танка [Текст] / О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк, И. Ю. Бирюков // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – Вып. № 2. – С. 107–110.
14. Анипко, О. Б. Аналитическая марковская модель функционирования комплекса вооружения танка [Текст] / О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк, И. Ю. Бирюков // Системи озброєння і військова техніка. – 2012. – Вып. № 3. – С. 2–5.
15. Бирюков, И. Ю. Маскировочная окраска наземных объектов и методы их распознавания [Текст] / И. Ю. Бирюков // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2013. – № 2. – С. 101–109.

*Стаття надійшла до редакції 24.05.2013 р.*

УДК 389: 001.18

О. О. Морозов

## БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ЗА УМОВИ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ

*Розглядається задача багатокритеріальної оптимізації складних організаційно-технічних систем за умови нечіткої вихідної інформації та пропонується узагальнений алгоритм розв'язування задач такого класу.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* багатокритеріальна оптимізація, складна організаційно-технічна система, невизначеність інформації.

**Постановка проблеми.** Всебічне забезпечення внутрішніх військ, зокрема їх угруповань, які утворюють для виконання певних службово-бойових завдань, вимагає створення відповідних систем забезпечення (технічного, тилового тощо). Угруповання внутрішніх військ і їх системи забезпечення можна вважати складними організаційно-технічними системами (СОТС).

Створення таких СОТС пов'язане, як правило, з формулюванням та розв'язуванням задач багатокритеріальної оптимізації [1; 2]. При цьому внаслідок протиріч показників ефективності (ПЕ) СОТС та відсутності вичерпної інформації про бажаний вигляд системи задача не завжди може бути розв'язана традиційними методами. Узагальнення такої ситуації можливо виконати з використанням апарату теорії нечітких множин [3; 4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Представленню задачі багатокритеріальної оптимізації складних систем за умов невизначеності інформації присвячено багато робіт [5–7]. Але у більшості з них синтез СОТС здійснюється за скалярним ПЕ, а сама задача наводиться у формальному вигляді і, головне, не наводяться кінцеві алгоритми її розв'язування. Це значно ускладнює застосування цих алгоритмів для задач синтезу на практиці.

**Мета статті** – розроблення алгоритму розв'язування задачі багатокритеріальної оптимізації СОТС за умов невизначеності вихідної інформації.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначеної множини цілей функціонування СОТС  $\{z_i\}$  ступінь досягнення цілей оцінюється множиною ПЕ  $\{K_{ij}\}$ ,  $i = \overline{1, \omega}$ ,  $j = \overline{1, \tau}$ . Назвемо ціллю рангу  $n$  ціль, що досягається на множині систем, які містять  $n$  ієрархічних рівнів. Множина таких систем створює множину розв'язків  $\{X_{ijm}\}$ ,  $m = \overline{1, \rho}$ . Назвемо ціль нечіткою, якщо кожній системі відповідає певний ступінь її належності множині розв'язків:

$$\mu_{\{X_{ijm}\}}(X_{ijm}) \in [0, 1]. \quad (1)$$

Задача багатокритеріальної оптимізації полягає у синтезі СОТС, яка буде оптимальною за вибраними ПЕ, тобто з максимальним ступенем належності множині розв'язків, і які задовольняють деякому набору граничних значень ПЕ:

$$K_{ij} \leq K_{ij}^{zp}.$$

Складність її розв'язування обумовлена тим, що у дійсності граничні значення показників ефективності визначити майже неможливо. Тобто граничні значення виявляються розмитими так само, як і оцінка ефективності системи, що синтезують. Ширина області розмитості визначається неповнотою (нечіткістю) вихідної інформації про цілі, про вид та властивості СОТС. У розв'язуванні задачі можна виділити декілька етапів.

*Перший етап. Постановка задачі та формування граничних значень показників ефективності СОТС.*

Граничні значення показників  $K_{ij}^{zp}$  визначаються директивно (у вигляді жорстких кількісних оцінок) або формуються на підставі вихідної інформації про цілі та властивості системи.

Для формалізованого представлення вихідної інформації необхідно у відповідність кожному показнику  $j$  для цілі  $i$  поставити нечітку множину, яка характеризує вихідну інформацію про них з функціями належності  $\mu_{ij}^{(k)}$ ,  $k=1, \sigma$  та індексом нечіткості:

$$v_{ij} = \frac{2}{\sigma} \sum_{k=1}^{\sigma} \Lambda(\mu_{ij}^{(k)}, 1-\mu_{ij}^{(k)}), \quad (2)$$

де  $\sigma$  – кількість характеристики інформації, що виділяється;  $\mu_{ij}^{(k)}$  – функції належності, які відповідають різним характеристикам інформації (наприклад,  $\mu_{ij}^{(1)}$  характеризує ступінь формалізації вихідних даних,  $\mu_{ij}^{(2)}$  – ступінь повноти,  $\mu_{ij}^{(3)}$  – ступінь важливості та ін.).

Значення  $\mu_{ij}^{(k)}$  можуть бути оцінені як відношення кількості факторів, що враховуються, до їх загальної кількості. Введемо також функції належності  $\mu_{\cup ij}$  та  $\mu_{\cap ij}$ :

$$\mu_{\cup ij} = \frac{1}{\sigma} \sum_{k=1}^{\sigma} m_{ijk} \cdot \mu_{ij}^{(k)}, \quad \mu_{\cap ij} = \bigcap_k m_{ijk} \cdot \mu_{ij}^{(k)}, \quad (3)$$

де  $m_{ijk}$  – ваговий коефіцієнт інформаційної характеристики  $k$ .

Значення  $\mu_{\cup ij}$ ,  $\mu_{\cap ij}$  можна ототожнювати з оцінкою важливості показників ефективності СОТС. Індекс нечіткості характеризує розмитість (визначеність) граничних значень показників. Так, при директивному визначенні граничних значень, тобто коли показники визначені у вигляді жорстких кількісних оцінок, всі  $\mu_{ij}^{(k)}=1$ , а  $v_{ij}=0$ . Взагалі ж їх оцінюють за інформацією на наступних рівнях аналізу. За значеннями  $\mu_{\cup ij}$  розраховується індекс нечіткості задачі:

$$v_{\Sigma} = \frac{2}{n} \sum_{ij} \Lambda(\mu_{\cup ij}, 1-\mu_{\cup ij}), \quad (4)$$

який характеризує розмитість постановки задачі, де  $n$  – загальна кількість показників всіх цілей.

У процесі з'ясування задачі нечітка множина, що характеризує вихідну інформацію про показники  $j$  для цілі  $i$ , індукує нечітку множину, яка характеризує інформацію про властивості систем на 1-му рівні аналізу:

$$\{\mu_{ij}^{(k)}\} \rightarrow \{\mu_{ijm(1)}^{(k)}\}. \quad (5)$$

За необхідності можна здійснювати аналіз систем на 2-му рівні – властивості підсистем СОТС:

$$\{\mu_{ij}^{(k)}, \mu_{ijm(1)}^{(k)}\} \rightarrow \{\mu_{ijm(2)}^{(k)}\}, \quad (6)$$

та на наступних рівнях, що відповідають властивостям елементів підсистем.

Нечіткі множини  $\{\mu_{ijm(1)}^{(k)}\}$ ,  $\{\mu_{ijm(2)}^{(k)}\}$ , ... характеризують інформацію про властивості систем на відповідних рівнях аналізу. Аналогічно до вищенаведеного вводяться  $\mu_{\cup ijm(1)}$ ,  $\mu_{\cup ijm(2)}$ , ... та індекси нечіткості:

$$v_{ijm(1)} = \frac{2}{\sigma} \sum_{k=1}^{\sigma} \Lambda(\mu_{ijm(1)}^{(k)}, 1-\mu_{ijm(1)}^{(k)}), \quad v_{ijm(2)} = \frac{2}{\sigma} \sum_{k=1}^{\sigma} \Lambda(\mu_{ijm(2)}^{(k)}, 1-\mu_{ijm(2)}^{(k)}), \dots, \quad (7)$$

які характеризують розмитість оцінок систем за показниками якості.

*Другий етап. Ранжирування придатних варіантів систем за ПЕ.*

Визначимо на множині придатних варіантів СОТС  $\{X_m\}$  (індекси  $i, j$  опущені) для кожного  $X_m \in \{X_m\}$  нечіткі підмножини  $\tilde{X}_m = \{X_m, \lambda_{\tilde{x}_m}^{ij}(X_m)\}$ , які характеризують систему певної

ефективності за показником  $j$  для цілі  $i$ , де  $\lambda_{x_m}^{ij}(x_m) \in L_m^{ij}$ , а  $L_m^{ij}$  – деяка множина типу решітка. При цьому кожний з показників може набувати значення у множинах  $L_m^{ij}$ , що мають різну структуру (наприклад,  $L_m^{ij}$  може бути векторною решіткою) [8].

Нечіткість оцінок ефективності систем залежить від нечіткості граничних значень показників та інформації про властивості систем.

Можна запропонувати такий алгоритм ранжирування систем за умов, що рівень аналізу фіксований.

Структура кожного  $L_m^{ij}$  представляється у вигляді простого графа та визначаються рівні порядку.

Для кожної пари систем  $X_r, X_\ell \in \{X_m\}$  визначається величина

$$\lambda^{ij}(X_r, X_\ell) = \frac{N_r^{ij} - N_\ell^{ij}}{N_o^{ij}} \equiv \delta_r^{ij} - \delta_\ell^{ij}, \quad (8)$$

де  $N_r^{ij}, N_\ell^{ij}$  – рівні порядку оцінок для  $X_r$  та  $X_\ell$  відповідно за показником  $j$  для цілі  $i$ ;  $N_o^{ij}$  – кількість рівнів порядку у  $L_m^{ij}$ ;  $\delta_r^{ij}, \delta_\ell^{ij}$  – аналоги відстаней у  $L_m^{ij}$ .

З кожним  $\lambda^{ij}$  зв'язане відношення  $\varepsilon_o$  – переваги, що має вигляд:

$$R_{ij}^{\varepsilon_o} = \{(X_r, X_\ell) / X_r, X_\ell \in \{X_m\}; \lambda^{ij}(X_r, X_\ell) > \varepsilon_{oij}\}. \quad (9)$$

Функція належності нечіткого відношення переваги визначається у вигляді:

$$\mu_{ij}(X_r, X_\ell) = \begin{cases} 1; & (X_r, X_\ell) \in R_{ij}^{\varepsilon_o}, \\ 0,5; & |\lambda^{ij}(X_r, X_\ell)| \leq \varepsilon_{oij}, \\ 0; & \lambda^{ij}(X_\ell, X_r) > \varepsilon_{oij}, \end{cases} \quad (10)$$

де  $\varepsilon_{oij}$  – область розмиття, у якій системи, що порівнюються, еквівалентні.

$$\varepsilon_{oij} \equiv \max(v_{ijr(p)}, v_{ij\ell(p)}), \quad (11)$$

де  $p$  – фіксований рівень аналізу.

Використовуючи результати ранжирування систем та поняття індексу нечіткості задачі, можна здійснити перевірку існування розв'язку задачі.

Зв'яжемо з кожним  $X_r$  нечітку множину  $\tilde{X}_r$  з функціями належності  $\mu_{\tilde{X}_r}^{ij}(X_r) = \delta^{ij}(X_r)$  (для усієї сукупності цілей та ознак). У підсумку отримаємо набір нечітких підмножин  $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_m$ .

Для кожної пари  $\tilde{X}_r, \tilde{X}_\ell$  підрахуємо відносні узагальнені відстані (наприклад, Евклідове, Хеммінга або інші) та на їх підставі побудуємо відношення неподібності на множині  $\{X_m\}$ . Розрахуємо мінімакс (min-sum) – транзитивне замикання, яке дає матрицю відповідних транзитивних відстаней  $\delta(\tilde{X}_r, \tilde{X}_\ell)$  у просторі ознак. Отримане відношення дозволяє побудувати схему декомпозиції, використовуючи мінімакс (min-sum) – транзитивну відстань, та виділити транзитивно рівновіддалені класи (підмножини), що відповідають різним значенням  $\delta$ :  $\delta(\tilde{x}_r, \tilde{x}_\ell) = 0$ ;  $\delta(\tilde{x}_r, \tilde{x}_\ell) = \delta_1$  і т. д.

Визначимо максимальне значення  $\delta(\tilde{X}_r, \tilde{X}_\ell) = \delta_{\max}$ , за якого системи  $\tilde{X}_1, \tilde{X}_2, \dots, \tilde{X}_m$ , що аналізують, ще розрізняються. Для того, щоб задача мала розв'язок, необхідно та достатньо, щоб виконувалась нерівність  $\delta_{\max} > v_\Sigma$ , тобто міра несхожості систем у просторі ознак повинна бути більше індексу нечіткості задачі, який характеризує рівень інформації про неї.

Ця умова має наочний сенс: інформація про задачу (показники та властивості систем) повинна бути достатньою для розрізнення систем у просторі ознак.

*Третій етап. Формування інтегральної оцінки ефективності системи.*

Знайдемо функції належності для перерізу та об'єднання відношень  $R_{ij}^{e\phi}$  :

$$\mu_{\cap}(X_r, X_\ell) = \bigwedge_{i, j(p)} m_{ij} \cdot \mu_{ij}(X_r, X_\ell), \quad (12)$$

$$\mu_{\cup}(X_r, X_\ell) = \sum_{i, j(p)} m_{ij} \cdot \mu_{ij}(X_r, X_\ell), \quad (13)$$

де  $j(p)$  – означає, що операція усереднення здійснюється за сукупністю факторів, виділених на  $p$  рівні аналізу;  $m_{ij}$  – враховує різницю у ступені важливості показників ефективності.

Ранжирування систем у отриманих множинах визначається функціями належності:

$$\mu_{\cap; \cup}(X_r) = 1 - V_{X_\ell} [\mu_{\cap; \cup}(X_\ell, X_r) - \mu_{\cap; \cup}(X_r, X_\ell)]. \quad (14)$$

Шукана підмножина ефективних систем за результатами ранжирування визначається значенням функції належності:

$$\mu(X_r^{e\phi}) = V_{X_r} [\mu_{\cap}(X_r) \wedge \mu_{\cup}(X_r)]. \quad (15)$$

Величину  $\mu(X_r^{e\phi})$  можна розглядати як інтегральний показник якості, визначений на множині  $\{X_m\}$ .

Можлива і інша процедура отримання ефективних рішень. У цьому випадку розраховується

$$\mu_{cp}(X_r, X_\ell) = \frac{\mu_{\cap}(X_r, X_\ell) + \mu_{\cup}(X_r, X_\ell)}{2}, \quad (16)$$

а потім

$$\mu(X_r^{e\phi}) = 1 - V_{X_\ell} [\mu_{cp}(X_\ell, X_r) - \mu_{cp}(X_r, X_\ell)]. \quad (17)$$

Урахуємо додаткові порогові умови, для чого визначимо відношення  $\varepsilon'_o$  – переваги:

$$R_{ij}^{\varepsilon'_o} = \{(X_r, X_o) / X_r, X_o \in \{x_m\}; \lambda^{ij}(X_r, X_o) > \varepsilon'_{oij}\} \quad (18)$$

з функцією належності:

$$\mu_{ij}(X_r, X_o) \equiv \mu_{ij}^o(X_r) = \begin{cases} 1; & (X_r, X_o) \in R_{ij}^{\varepsilon'_o}, \\ 0,5; & |\lambda^{ij}(X_r, X_o)| \leq \varepsilon'_{oij}, \\ 0; & \lambda^{ij}(X_o, X_r) > \varepsilon'_{oij}, \end{cases} \quad (19)$$

де  $X_o$  – гранична система, що характеризується граничним значенням показників  $K_{ijo}$  (на певному рівні аналізу).

Тут, як і вище, суттєвим є існування області розмиття, в якій системи, що порівнюються, не розрізняються за даним показником. Ширина області розмиття  $\varepsilon'_{oij} \cong \max(v_{ij}, v_{ijr(p)})$ .

Шукана множина оптимальних систем у цьому випадку визначається функцією належності:

$$\mu^{e\phi}(X_r) = V_{X_r} \left\{ \left[ \bigwedge_{i, j(p)} \mu_{ij}^o(X_r) \right] \wedge \left[ \mu_{\cap}(X_r) \mu_{\cup}(X_r) \right] \right\}. \quad (20)$$

Розглянемо деякі особливості запропонованого алгоритму оптимізації.

1. Якщо інформація про граничні значення точна, тобто  $\varepsilon'_{oij} = 0$ , то алгоритм оптимізації спрощується:

$$\mu^{ef}(X_r) = \bigvee_{X_r} \bigwedge_i \bigwedge_j \mu_{ij}^o(X_r). \quad (21)$$

Подібний випадок має місце, якщо  $\varepsilon_{oij} \ll |\lambda^{ij}(X_r, X_\ell)|$ .

2. Якщо  $\varepsilon'_{oij} \cong \max |\lambda^{ij}(X_r, X_\ell)|$ , то чутливість рішення мала і алгоритм оптимізації малоефективний.

### **Висновок**

Розроблено алгоритм багатокритеріальної оптимізації СОТС за умов невизначеності вихідної інформації про бажаний вигляд системи, який дозволяє отримувати ефективні рішення.

### **Список використаних джерел**

1. Многокритериальная оптимизация: математические аспекты [Текст] / Б. А. Березовский и др. – М. : Наука, 1989. – 128 с.
2. Дубов, Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов системы [Текст] / Ю. А. Дубов, С. И. Травкин, В. М. Якимец. – М. : Наука, 1986. – 221 с.
3. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / А. Кофман. – Пер. с франц. – М. : Радио и связь, 1982. – 423 с.
4. Орловский, С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации [Текст] / С. А. Орловский. – М. : Наука, 1981. – 203 с.
5. Зайченко, Ю. П. Исследование операций: нечеткая оптимизация [Текст] / Ю. П. Зайченко. – К. : Вища шк., 1991. – 191 с.
6. Кононенко, А. Ф. Принятие решений в условиях неопределенности [Текст] / А. Ф. Кононенко, А. Д. Халезов, В. В. Чумаков. – М. : ВЦ АН ССР, 1991. – 126 с.
7. Дилигенский, Н. В. Нечеткое моделирование и многокритериальная оптимизация производственных систем в условиях неопределенности: технология, экономика, экология [Текст] / Н. В. Дилигенский, Л. Г. Дымова, П. В. Севастьянов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 220 с.
8. Гретцер, Г. Общая теория решеток [Текст] / Г. Гретцер; под ред. Д. М. Смирнова. – Пер. с англ. – М. : Мир, 1981. – 456 с.

*Стаття надійшла до редакції 22.04.2013 р.*



УДК 621.396.677

Г. В. Єрмаков, І. М. Майборода, К. В. Власов, А. В. Ірха

## **НЕЙТРАЛІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАМИКАЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ПОТУЖНИХ НАДШИРОКОСМУГОВИХ СИГНАЛІВ**

*Розглянуті можливості застосування надширокосмугових сигналів для нейтралізації електронних замикаючих пристроїв у випадку позасмугового впливу. Наведені числові значення часових та енергетичних характеристик послідовностей випромінюваних сигналів, що забезпечують деградацію напівпровідникових елементів у випадку позасмугового впливу.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* надширокосмуговий, система контролю доступу, функціональне ураження, нейтралізація, позасмуговий.

**Постановка проблеми.** Електронний замок – одна з основних складових систем контролю доступу, достатньо поширений пристрій, який можна зустріти на більшості охороняємих об'єктів. Функціональність сучасних електронних замків така, що вони вже не є окремою деталлю запираючого механізму, а інтегруються в загальну систему безпеки.

Для того, щоб електромеханічний замок надавав доступ на об'єкт тільки певним особам, необхідно просто сповістити їх про запрограмований код. Аналіз конструкцій сучасних замків показав, що їх елементною базою є радіокомпоненти: діоди, транзистори, мікросхеми, процесори. Для відкривання електронних замків використовують брелоки, цифрові коди або біометричні механізми, тобто в конструкції обов'язково присутній приймач сигналу, який і забезпечує відкривання об'єкта, що захищають.

Не зважаючи на очевидні переваги сучасних систем контролю доступу, їхні складові є чутливими до впливу потужних електромагнітних імпульсів (ЕМІ), що спричинює відмову електронних елементів конструкції, основа яких – твердотільні напівпровідникові структури (діоди, транзистори і мікросхеми). Застосування потужного електромагнітного випромінювання може призвести до функціонального ураження системи [1]. У даному випадку під функціональним ураженням розуміється такий стан системи, за якого спостерігається короткочасне або тривале порушення працездатності електронної апаратури, що пов'язано з невідновлюваними відмовами напівпровідникових елементів. Технологія функціонального ураження передбачає використання ЕМІ малої тривалості (до 1 нс) та великої пікової потужності. Зазначимо, що результати впливу залежать від відстані між джерелом випромінювання та об'єктом ураження і від спектральних характеристик випромінювання: ширини смуги частот, фронтів та тривалості імпульсу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наш час проведені теоретичні дослідження і створені надширокосмугові (НШС) радіотехнічні системи різного призначення [1; 2]. Основу таких систем складає тракт формування та випромінювання НШС сигналів, який являє собою достатньо відпрацьоване технічне рішення. Тому такий тракт може бути покладений в основу розроблення і створення конкурентноздатних засобів нейтралізації систем контролю доступу, включаючи електронні замки.

Під НШС сигналом розуміють сигнал наносекундної тривалості з великою відносною шириною спектра ( $\Delta f / f_{\text{сер}} \approx 1$ , де  $\Delta f$  – ширина спектра,  $f_{\text{сер}}$  – середня частота). Основною перевагою використання таких сигналів є те, що НШС засіб не призначений для ураження однієї конкретної системи або класу систем, а може використовуватись для ураження широкого діапазону різних систем.

**Метою статті** є аналіз можливостей нейтралізації електронних замків з використанням НШС сигналів.

**Виклад основного матеріалу.** Відомі два способи функціонального ураження (нейтралізації) радіоелементної бази електронних замків: внутрішньосмуговий та позасмуговий. Внутрішньосмуговий спосіб є енергетично більш вигідним, але потребує наявності антенної системи у об'єкта, що нейтралізують. Тому основним способом нейтралізації систем контролю доступу можна вважати позасмуговий спосіб, за якого функціональне ураження елементної бази спецобчислювачів, що керують, суттєво залежить як від характеристик радіоелектронних елементів, так і від конструктивного виконання вражаемого об'єкта, наприклад, від конструкції та характеристик

екранів, розмірів і форми технологічних отворів, елементів монтажу, взаємного розташування радіоелектронних елементів на монтажних платах і т. ін. [3]. Тому в даному випадку для оцінювання необхідної потужності ЕМІ доцільно використовувати результати спеціальних експериментальних досліджень стійкості даного типу пристрою до впливу ЕМІ малої тривалості та великої потужності.

Енергетичний поріг для досягнення ефекту деградації радіоелектронних елементів визначається часом релаксації теплових процесів  $\tau$ , який для напівпровідникових приборів й інтегральних мікросхем складає  $\geq 10 \dots 100$  нс. Для підсилення теплового впливу, що спричинює деградацію радіоелементів, необхідні періодичні послідовності НШС сигналів. Вираз для оцінювання необхідної для нейтралізації радіоелектронних елементів потужності на вході напівпровідникового приладу має вигляд [4]:

$$P_{дегр} = \frac{K_n S_{p-n}}{\sqrt{\tau_\Sigma}}, \quad (1)$$

де  $K_n$  – стала пошкодження, що залежить від типу напівпровідникового елемента та має розмірність [кВт / мкс<sup>1/2</sup> · см<sup>-2</sup>];  $\tau_\Sigma$  – сумарний час впливу ЕМІ;  $S_{p-n}$  – площа  $p-n$  переходу [см<sup>2</sup>].

Наведений вираз дозволяє визначити сумарну потужність, необхідну для деградації елементів, у випадку позасмугового впливу на них періодичної послідовності імпульсів:

$$P_{дегр}^{ext} = P_{дегр} K_{en}, \quad (2)$$

де  $K_{en}$  – додатковий коефіцієнт послаблення, що визначається експериментально.

У таблиці наведені значення потужності позасмугового впливу для пачки ультракоротких імпульсів тривалістю  $\tau_\Sigma = 100$  мс.

Т а б л и ц я

Значення потужності позасмугового впливу

Типи напівпровідникових елементів	$K_n$	$S_{p-n}, \text{ см}^2$	$\tau_\Sigma, \text{ мс}$	$P_{дегр}^{ext}, \text{ мВт}$	
				$K_{en} = 30 \text{ дБ}$	$K_{en} = 40 \text{ дБ}$
Діоди і транзистори	0,1	$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$	$10^2$	$3 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^3 \dots 2 \cdot 10^5$
Діоди НВЧ	0,01	$10^{-3} \dots 5 \cdot 10^{-2}$	$10^2$	$3 \cdot 10^1 \dots 2 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^2 \dots 2 \cdot 10^4$
Інтегральні схеми та великі інтегральні схеми	0,1	$10^{-4} \dots 2 \cdot 10^{-3}$	$10^2$	$3 \cdot 10^1 \dots 6 \cdot 10^2$	$3 \cdot 10^2 \dots 6 \cdot 10^3$

Результати наведених розрахунків показують, що потужність, необхідна для деградації елементів у випадку позасмугового впливу  $P_{дегр}^{ext}$ , повинна бути у межах від 30 до  $2 \cdot 10^5$  мВт. Для створення потужностей такого рівня необхідно в подальшому запропонувати відповідну конструкцію НШС антенної системи.

### Висновки

У статті наведені часові та енергетичні характеристики послідовностей НШС сигналів, достатні для нейтралізації систем контролю доступу, основним елементом яких є електронні замки. Отримані дані можуть бути використані у розробленні вимог до НШС засобів нейтралізації електронних замків.

### Список використаних джерел

1. Кравченко, В. И. Электромагнитное оружие [Текст] / В. И. Кравченко. – Х. : НТУ “ХПИ”, 2008. – 185 с.
2. Генератор мощных наносекундных импульсов [Текст] : пат. 1804271 Рос. Федерация: SU 1804271 А1. 6 Н03К3/53 / И. В. Грехов, В. М. Ефанов, А. Ф. Кардо-Сысоев; заявитель и патентообладатель Физико-техн. ин-т им. А. Ф. Иоффе. – № 4930490/21; заявл. 24.04.91; опубл. 27.06.96, Бюл. № 10/2002.
3. Пономарев, Л. И. Основы ЭМС излучающих систем РЭС [Текст] : учеб. пособие / Л. И. Пономарев. – М. : МАИ, 1989. – 102 с.
4. Панов, В. В. Некоторые аспекты проблемы создания СВЧ средств функционального поражения [Текст] / В. В. Панов, А. А. Саркисян // Зарубежная радиоэлектроника. – 1993. – № 10. – С. 22–24.

Стаття надійшла до редакції 10.06.2012 р.

УДК 621.396.677

Г. В. Єрмаков, І. М. Майборода, О. В. Стаховський, О. В. Ченикаєв

**ПРОСТОРОВО-ЧАСОВІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИЛІНДРИЧНИХ  
ФАЗОВАНИХ АНТЕННИХ РЕШІТОК ДЛЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО УРАЖЕННЯ  
НАЗЕМНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ**

*Проаналізовано просторово-часові та енергетичні характеристики циліндричних фазованих антенних решіток, призначених для функціонального ураження наземних станцій радіозв'язку. Отримані залежності для розрахунку напруженості електричного поля сформованого багаточастотного просторово-часового сигналу дозволяють запропонувати алгоритм фазування циліндричних фазованих антенних решіток.*

*К л ю ч о в і с л о в а: циліндрична фазована антенна решітка, багаточастотний просторово-часовий сигнал.*

**Постановка проблеми.** В силу специфіки застосування радіорелейних ліній (РРЛ) створення завод радіорелейним станціям (РРС) є складною задачею, оскільки їх антенні системи відвернуті в напрямку своїх командних пунктів. У цьому випадку завада може бути створена або диверсійною групою шляхом закидування передавача завод, або по дальніх бокових чи задній пелюстках діаграми спрямованості антенної системи [1]. Діапазон частот, що використовується для зв'язку в сучасних цифрових РРС, наприклад, “Діамант”, складає 2, 4, 6, 8 ГГц. Режими роботи “Широкопasmовий сигнал” і “ППРЧ” покращують заводо захищеність РРС без застосування додаткових засобів радіомаскування хвиль.

Одним з можливих способів протидії РРС у широкій смузі частот є їхнє функціональне ураження (ФУ) з використанням потужних електромагнітних імпульсів, що випромінюють засоби ФУ наземного (мобільні комплекси) або повітряного (безпілотні літальні апарати) базування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні проведені глибокі теоретичні дослідження щодо розроблення багатофункціональних радіотехнічних засобів (РТЗ) з передавальними фазованими антенними решітками, що забезпечують фокусування електромагнітного імпульсу (ЕМІ) в задану точку простору в зоні Фраунгофера. Відомо, що у разі використання плоских фазованих антенних решіток (ФАР) у випадку відхилення діаграми спрямованості від напрямку нормалі виникають її спотворення, що призводить до зміни структури сформованого багаточастотного просторово-часового сигналу (БЧ ПЧС). Цих недоліків позбавлені циліндричні ФАР (ЦФАР), що мають низку переваг над плоскими ФАР: більшу смугу пропускання, можливість супроводження декількох цілей [2].

Якщо виконуються умови ФУ, то повинні бути висунуті певні вимоги до часових і енергетичних параметрів сигналу ураження. Обґрунтовано, що з урахуванням характерного часу релаксації теплових процесів  $\tau_T$ , який для напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем складає  $\geq 10 \dots 100$  нс, і часу спрацьовування захисних пристроїв 10 нс доцільно використовувати послідовність сфокусованих ЕМІ з такими параметрами: тривалість одиночного імпульсу  $\tau_{ПВС} \leq 5$  нс, період слідування  $T_{ПВС} = 250$  нс, сквапність  $Q = 50$ , тривалість пачки  $\tau_{р\sigma} = 255$  мкс [3].

Визначено, що реалізація внутрішньосмугового режиму роботи засобу ФУ РРС для деградації мікрохвильових діодів та інтегральних схем потребує потужності на вході радіотехнічних систем, що уражаються, 0,006 ... 0,4 Вт, а для деградації комутуючих діодів і малопотужних транзисторів 0,06 ... 9,5 Вт [4].

**Метою статті** є аналіз просторово-часових і енергетичних характеристик ЦФАР для ФУ РРС.

**Виклад основного матеріалу.** З урахуванням потужності, необхідної для ФУ входних каскадів РРС, визначено, що за умови відсутності дифракційних пелюсток на максимальній відстані фокусування  $R_\phi = 5000$  м загальна кількість випромінювачів дорівнює 260; робоча зона циліндричної ФАР для конформного сканування складає 2,54 м уздовж напрямної. При довжині твірної  $L_{обр} = 0,5$  м робоча площа становить 1 м<sup>2</sup>. Для кроку решітки вздовж напрямної  $d_x = 1,0\lambda = 3$  см, за умови обмеження розмірів сектора випромінювання циліндричної ФАР за кутом місця до 55°, крок уздовж

твірної решітки дорівнюватиме  $d_z = 0,8\lambda = 2,4$  см; кількість випромінювачів, що формують поле, буде  $N = (M_x = 88) \times (N_z = 20) = 1760$ ; коефіцієнт спрямованої дії антени 40 дБ. Для досягнення внутрішньосмугового ФУ на відстані 5000 м потужність, що підводиться до окремого елемента ФАР, з урахуванням втрат на розузгодження ширини спектра сигналу із смугою пропускання радіотехнічної системи (-15 дБ) та можливостей приймання сигналів по боковій пелюстці антени РРС (-13 дБ), складає  $P_{випр1} = 110$  Вт [5].

Напруженість електричного поля, що створюється ЦФАР у заданій точці спостереження або в заданий момент часу, розраховувалась за формулою:

$$\dot{E}(P_\phi, t) = \sum_{m=1}^{M_x} \sum_{n=1}^{N_z} \frac{\dot{F}_{mn}(\beta_\phi, \alpha_\phi)}{R_{mn}} \sqrt{60 P_{mn} G_{\max mn}} \cdot \exp \left\{ j \left[ 2\pi f_{0mn} \left( t - \frac{R_{mn}}{c} \right) + \phi_{0mn} \right] \right\}, \quad (1)$$

де  $m$  і  $n$  — індекси, що визначають номер випромінювача;  $M_x, N_z$  — кількість елементів, що випромінюють вздовж напрямної і твірної;  $\dot{F}_{mn}(\beta_\phi, \alpha_\phi)$  — векторна комплексна нормована діаграма спрямованості випромінювача ЦФАР;  $R_{mn}$  — відстань від випромінювача решітки до точки фокусування;  $P_{mn}$  — потужність, що підводиться до  $mn$  елемента ФАР;  $G_{\max mn}$  — коефіцієнт підсилення одиночного випромінювача;  $f_{0mn}, \phi_{0mn}$  — частота і початкова фаза спектральної складової БЧ сигналу, що підводиться до елемента ВФАР;  $t$  — момент часу спостереження.

Для визначення напруженості електричного поля в точці фокусування  $P_\phi(x_\phi, y_\phi, z_\phi)$  для  $mn$  випромінювача необхідно розрахувати координати  $x_{mn}, y_{mn}, z_{mn}$  розташування джерела в заданій системі координат:

$$d_x = \frac{2\pi R_y}{M_x}, \quad \alpha_{mn} = 2\arcsin\left(\frac{2R_y}{d_x}\right), \quad d_z = \frac{L_z}{N_z}.$$

Для зазначених умов координати  $mn$  випромінювача будуть:

$$x_{mn} = R_y \cos \alpha_{mn}, \quad y_{mn} = R_y \sin \alpha_{mn}, \quad z_{mn} = n d_z.$$

У випадку, що розглядається, для ФУ РРС використовується пачка з  $N$  імпульсів. Поле в області точки фокусування  $P_\phi$  являтиме послідовність БЧ ПЧС, де кожний сигнал з пачки формується в точці  $P_\phi$  з урахуванням періоду надходження імпульсів.

Конструкція ЦФАР з пірамідальними випромінювачами має кругову поляризацію. В цьому випадку врахуємо, що поляризаційна діаграма спрямованості не залежатиме від положення окремого випромінювача.

З урахуванням кривизни поверхні уздовж твірної закон розподілу частот  $mn$  випромінювачів по апертурі ЦФАР за просторово-фазо-частотного управління має вигляд:

$$f_{0mn} = f_0 + m\Delta F_x + F_{\text{дон}}, \quad (2)$$

де  $f_0$  — несуча частота центрального випромінювача;  $\Delta F_x$  — величина зміни частоти вздовж осі  $OY$ ;  $n \in \left[ -\frac{N_y - 1}{2}; \dots, 0; \dots, \frac{N_y - 1}{2} \right]$ ;  $F_{\text{дон}} = \frac{c}{2\pi R_y [1 - \cos(m\delta\alpha)]}$  — додаткова частота, що дозволяє

забезпечити синфазність плоского еквівалентного розкриву;  $\delta\alpha = \alpha_{mn} - \alpha_{mn-1}$  — кутова дискрета.

На рис. 1 наведено розподілення несучих частот, обчислене за формулою (1). Розподілення вздовж твірної є лінійним. Розподілення вздовж напрямної відрізняється від лінійного і залежить від радіуса циліндра.

На рис. 2 наведено нормовані значення напруженості електричного поля, що випромінюється ЦФАР у напрямку нормалі до площини розкриву  $E_n = E(x_\phi, y_\phi, z_\phi, t) / E_{\max}$  для відстані  $R = 5000$  м, обчислене за формулою (2) з рівномірним амплітудним розподіленням.

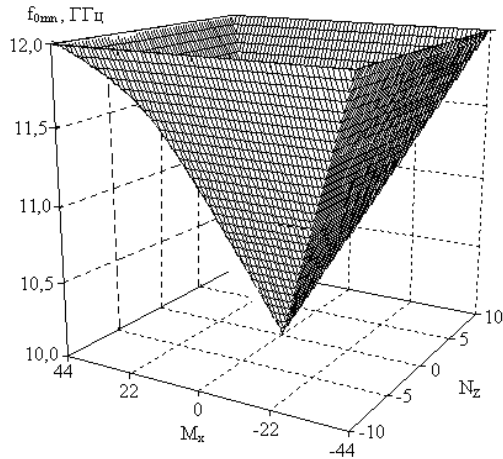


Рис. 1. Розподілення несучих частот по апертурі циліндричної ФАР

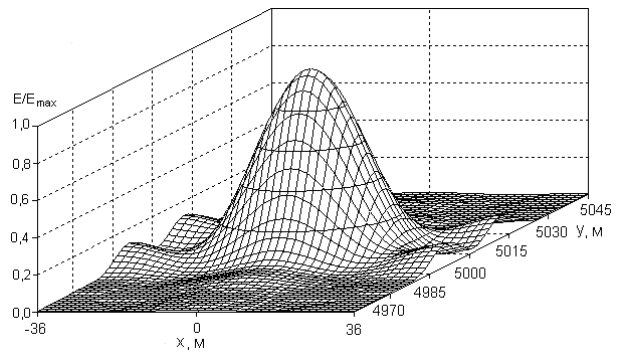


Рис. 2. БЧ ПЧС у напрямку нормалі до циліндричної ФАР у дальній зоні

З рис. 2 випливає, що крутизна переднього фронту 1,5 нс, рівень першої бічної пелюстки  $-10$  дБ, тривалість одиночного імпульсу 5 нс, що відповідає вимогам, визначеним вище. Очевидно, що сформований БЧ ПЧС у випадку зміни азимута точки фокусування змінюватись не буде.

Як видно з рис. 2, часова структура сформованого сигналу така, що частина потужності “перетікає” у бокові пелюстки. Результати розрахунків показали, що пікове значення поля одиночного сигналу дорівнює 63 В/м. Якщо зіставити ці дані з напруженістю поля, достатньою для ФУ діодів, з урахуванням втрат ( $E=70$  В/м; потужність, що випромінюється робочою зоною ЦФАР,  $P_{випр.} > 0,2$  МВт), то можна уточнити потужність, яка підводиться до антени. Враховуючи, що на основну пелюстку сигналу припадає близько 90 % випроміненої потужності, та з урахуванням втрат у лініях передачі, загальна потужність, яка підводиться до всіх випромінювачів робочої зони ЦФАР, дорівнюватиме  $P_{випр} = 0,25$  МВт або для одного випромінювача  $P_{випр1} = 142$  Вт.

### Висновки

Проаналізовано просторово-часові та енергетичні характеристики ЦФАР, призначених для ФУ наземних станцій радіозв’язку. Отримані залежності для розрахунку напруженості електричного поля БЧ ПЧС дозволили запропонувати алгоритм фазування ЦФАР.

### Список використаних джерел

1. Связь в общевойсковом бое и армейских операциях [Текст]. – М. : Воениздат, 1985. – 237 с.
2. Воскресенский, Д. И. Выпуклые сканирующие антенны (основы теории и методы расчета) [Текст] / Д. И. Вознесенский, Л. И. Пономарев, В. С. Филиппов. – М. : Сов. радио, 1978. – 304 с.
3. Фокусировка электромагнитного излучения и ее применение в радиоэлектронных средствах СВЧ [Текст] / А. В. Гомозов, В. И. Гомозов, Г. В. Ермаков, С. В. Титов; под ред. В. И. Гомозова. – Х. : Городская типография, 2011. – 330 с.
4. Панов, В. В. Некоторые аспекты проблемы создания СВЧ-средств функционального поражения [Текст] / В. В. Панов, А. Н. Саркисян // Зарубежная радиоэлектроника. – 1993. – № 10–12. – С. 3–11.
5. Ясечко, М. Н. Излучение последовательностей многочастотных пространственно-временных сигналов цилиндрическими антенными решетками с заданными характеристиками [Текст] / М. Н. Ясечко, Г. В. Ермаков // Збірник наукових праць ХУПС. – Х. : ХУПС, 2011. – № 1 (27). – С. 119–122.

Стаття надійшла до редакції 19.02.2013 р.

УДК 35.071.1

В. В. Обрядін, В. В. Єманов, П. В. Бойко, Р. В. Сегінгер

## **ВИКОРИСТАННЯ ГІС-ТЕХНОЛОГІЙ В СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ НА БІЙ КОМАНДИРОМ СТРІЛЕЦЬКОЇ РОТИ**

*Розглянуті питання використання ГІС-технологій в системі підтримки прийняття рішення на бій командиром стрілецької роти. Надані рекомендації з використання програмного пакета Arc View Gis версії 3.3 для полегшення найбільш складних етапів роботи командира у процесі організації бою.*

*К л ю ч о в і с л о в а: ГІС-технології, системи підтримки прийняття рішення, напрямок зосередження зусиль, бойові потенціали військ.*

**Постановка проблеми.** Внутрішні війська зобов'язані у воєнний час брати участь у територіальній обороні в районах своєї службово-бойової діяльності. Одними із завдань територіальної оборони для внутрішніх військ є:

- охорона та оборона важливих об'єктів і комунікацій;
- боротьба з диверсійно-розвідувальними силами, іншими озброєними формуваннями агресора та незаконно утвореними антидержавними озброєними формуваннями.

Командир, приймаючи рішення на службово-бойове застосування свого підрозділу стосовно організації оборони важливого об'єкта або комунікацій, для успішного виконання поставленого завдання повинен завжди встигнути якісно виконати всі заходи з організації бою.

Практика підтверджує, що яким би підготовленим та обізнаним у військовій справі не був командир, йому важко в стислі строки усвідомити завдання, оцінити обстановку та прийняти раціональне рішення без застосування обчислювальної техніки і сучасних інформаційних технологій, які входять до складу систем підтримки прийняття рішення (СППР). Останні є системами, максимально пристосованими для розв'язування неструктурованих і слабо структурованих задач повсякденної військової діяльності, наприклад, діяльності командира підрозділу. СППР – інструмент, що допомагає людині, яка приймає рішення. За допомогою СППР користувач отримує варіанти розв'язування деяких задач, у тому числі багатокритерійних. Саме такі задачі розв'язує командир підрозділу під час організації загальновійськового бою на місцевості.

Отже, питання використання ГІС-технологій у системі підтримки прийняття рішення командиром стрілецької роти на бій є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій** дозволяє зробити висновок, що одним із найбільш перспективних напрямків розроблення СППР для об'єктів з просторовим прив'язуванням, до яких належать військові частини і підрозділи на полі бою, є використання ГІС-технологій [1; 2].

**Мета статті** полягає у тому, щоб відповідно до вимог керівних документів та аналізу практичних дій підрозділу внутрішніх військ з оборони важливих об'єктів і комунікацій розробити рекомендації командира підрозділу з використання математичного апарату та ГІС-технологій як складових СППР для оцінювання обстановки під час бою посиленої стрілецької роти з диверсійно-розвідувальними силами, іншими озброєними формуваннями агресора та незаконно утвореними антидержавними озброєними формуваннями.

**Виклад основного матеріалу.** Робота командира роти щодо організації бою пов'язана з нанесенням на карту тактичної обстановки. Військові об'єкти на місцевості за їх типом (графічним відображенням) можливо розподілити на точкові, лінійні та площинні (вогневі засоби, рубежі відкриття вогню, взводні опорні пункти тощо). Для опису властивостей (кількісних, просторових, часових, імовірнісних) об'єктів їм надаються певні характеристики – атрибути, які є числовими або символічними характеристиками, що містяться у базі даних. Вони можуть відноситися як до символів, так і до об'єктів. Усі об'єкти і символи повинні мати свій номер або ідентифікатор, за допомогою якого можна прив'язати атрибутивну інформацію до географічної, тобто до топографічної карти (робочої карти командира), що своєю чергою повинна бути прив'язана до географічних координат на земній кулі.

Висока точність зняття координат і нанесення обстановки на робочу карту командира у простий спосіб досягається прив'язуванням лівих верхніх кутів аркушів топографічних карт (растрових файлів) до географічних (прямокутних) координат на земній кулі. У цьому випадку геоінформаційні

системи забезпечують високу точність нанесення та визначення географічних або прямокутних координат об'єктів [4; 5].

Після прив'язування аркушів топографічної карти до прямокутних координат земної кулі командир наносить на карту тактичну обстановку за допомогою вбудованого графічного інтерфейсу *ArcView* та розвідувальні дані, які можна отримати з переданої мережею повідомлень таблиці *Excel*. В останньому випадку порядок роботи оператора такий.

1. В *Excel* відкривають переданий файл і виділяють рядки (перший виділений рядок буде назвою полів) з розвідувальною інформацією, що містить відомості про порядковий номер розвіданого об'єкта, його важливість та координати (рис. 1).

№ з/п	Б/П_танки	X_коорд	Y_коорд
1	2.400	4311.92086	6067.44410
2	2.400	4312.01118	6067.39673
3	2.400	4312.18047	6067.31691
4	2.400	4312.30347	6067.32816
5	2.400	4312.43101	6067.29627

Рис. 1. Файл у редакторі *Excel* із розвідувальною інформацією про об'єкти СИНІХ

2. В *ArcView* у вікні *Темы* (рис. 2) запускають скрипт *Import From Excel*, за допомогою якого таблиця *Excel* імпортується у формат *DBF*.

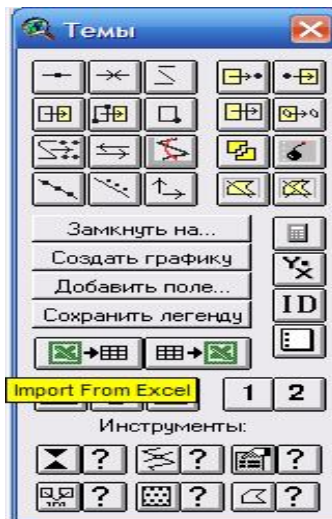


Рис. 2. Імпортована за допомогою скрипта *Import From Excel* таблиця *Excel* у формат *DBF*

3. У діалозі вікна *Задайте имя файла* задають ім'я нового *DBF* файлу *Excel\_ТАНКИ*, який автоматично буде завантажений у *ArcView* (рис. 3).



Рис. 3. Ім'я нового *DBF* файлу у діалоговому вікні

4. Зробити активним *View*. З меню *View* вибрати *Add Event Theme* (Додати тему події). Відкриється діалогове вікно *Add Event Theme*.

5. У списку *Table* вибрати таблицю *Лист1 from ТАНКИ.xls*. У списках *X field* та *Y field* ввести поля: *X\_коорд*, *Y\_коорд* (рис. 4). Натиснути *OK*, щоб створити нову тему.

6. Зробити активною у *View* тему *Лист1 from ТАНКИ.xls*.

7. З меню *Theme* вибрати *Convert to Shapefile*. З'являється діалогове вікно. У віконці вибрати диск:\папку, де потрібно зберегти шейпфайл. У віконці *Name* змінити назву на *танки\_пром.shp*, потім клацнути *OK*.

8. У діалоговому вікні з'являється питання: *Додати шейпфайл як тему до Виду?* Клацнути *Yes*. *ArcView* створює новий шейпфайл із назвою *танки\_пром.shp* у визначеній папці й додає як тему до *Виду*.

Під час з'ясування завдання та оцінювання обстановки командир робить висновок стосовно можливого напрямку (району) зосередження зусиль як противника, так і своїх військ. Застосування ГІС-технологій дозволяє формулювати частковий висновок з цього питання у такий спосіб.

Для визначення можливого напрямку зосередження зусиль противника офіцер-оператор в атрибутивній таблиці теми статистично аналізує поля координат просторових об'єктів з урахуванням їх важливості (бойового потенціалу зброї, елементів бойового порядку, оперативного шикування військ). Для цього в атрибутивній таблиці теми оператор робить активним поле, яке містить координати аналізованих об'єктів, з меню *Field* вибирає поле *Statistics* і натискає на ньому. Результати аналізу: значення прямокутних координат середньої точки *Mean* прикладання зусиль, виводяться у таблиці *Statistics for X\_coord field* атрибутивної таблиці *Attributes of танки ЛЕОПАРД* (рис. 5).

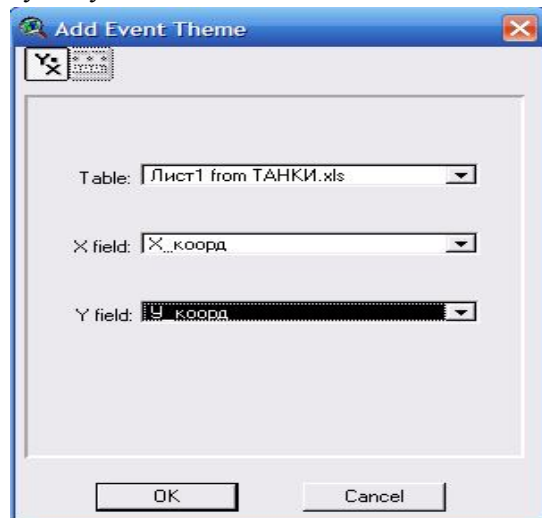


Рис. 4. Діалогове вікно *Add Event Theme*

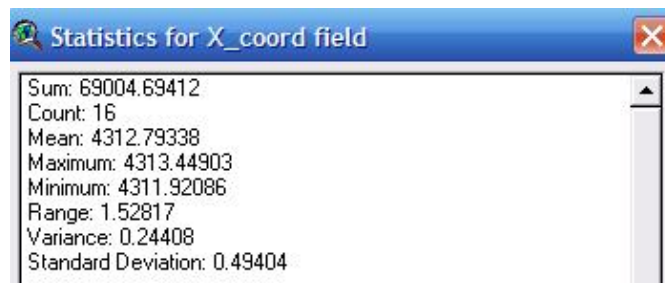


Рис. 5. Середнє значення (*Mean*) прямокутної координати точки прикладання зусиль  $X = 4312,79338$  км

У загальному випадку алгоритм визначення можливого напрямку зосередження зусиль ( $x_c$ ,  $y_c$  – прямокутні координати точки) протиборчої сторони нагадує вираз з теоретичної фізики для знаходження центра мас системи матеріальних точок:

$$x_c = \frac{\sum_i m_i x_i}{\sum_i m_i}, \quad y_c = \frac{\sum_i m_i y_i}{\sum_i m_i}, \quad (1)$$

де  $\sum_i m_i$  – загальний бойовий потенціал зразків озброєння, елементів бойового порядку, оперативного шикування військ  $i$ -го типу;  $y_i$ ,  $x_i$  – координати розташування зразків озброєння, координати центрів елементів бойового порядку, оперативного шикування військ  $i$ -го типу.

Після визначення координат точки прикладання зусиль оператор з використанням лінійної теми наносить на карту можливий напрямок зосередження зусиль противника. Початковою точкою лінії є визначені координати середньої точки зосередження зусиль противника, а кінцевою – координати важливого тактичного об'єкта на карті. У більшості випадків лінія напрямку зосередження зусиль



протидіючої сторони у наступі повинна проходити під прямим кутом до передових позицій смуги оборони.

З урахуванням відомих тактичних нормативів і функцій просторового аналізу *Arc View* на електронній карті офіцер-оператор позначає всі активні сили та засоби протидіючих сторін, що розташовані на визначеній відстані ліворуч та праворуч відносно напрямку зосередження зусиль наступаючого противника [3]. Порядок роботи такий.

1. Для активного виду *View1* з меню *Вид* оператор вибирає (ставить прапорець ліворуч від теми) і робить активними (активна тема обведена прямокутником) теми: *ПТРК\_МИЛАН*; *танки\_прот.*; *бмп\_прот.*; *всп\_апач*; *ртг\_прот.* Оператор використовує функцію *Select By Theme* – “вибір об’єктів теми за допомогою іншої теми”, щоб вибрати вогневі засоби в позначених темах, які перебувають у межах 500 м від теми *напрямок\_удару*.

2. Переконавшись, що вибрані теми активні, оператор вибирає *Select By Theme* з меню *Theme*. Відкривається діалогове вікно *Select By Theme* (рис. 6).

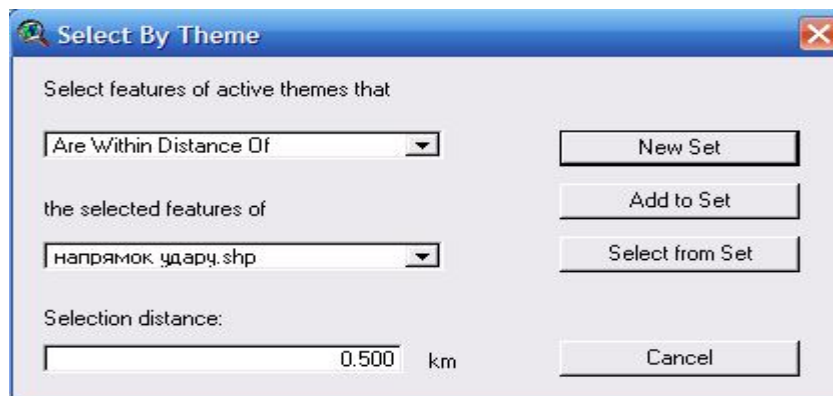


Рис. 6. Діалогове вікно *Select By Theme* (вибір об’єктів теми за допомогою іншої теми)

3. Вибираємо тему *напрямок\_удару* з нижнього списку, щоб з її допомогою вибрати потрібну тему.


4. З верхнього списку оператор вибирає *Are Within Distance Of* (Перебувають у межах відстані).

5. Набираємо 0.500 км у рядку *Selection distance*.

6. Натискаємо на *New Set*. *ArcView*, вибираємо вогневі засоби та підрозділи в межах 0.500 км від лінійної теми *напрямок\_удару*.

7. Натискаємо на кнопку *Open Theme Table*, щоб відкрити таблиці властивостей для активних тем (див. рис. 7).

8. Послідовно для кожної таблиці теми, клацнувши на кнопці *Promote*, оператор переміщує вибрані записи в початок кожної атрибутивної таблиці.

За допомогою функції *Join* (ніктограма ) виконується попарне поєднання атрибутивних таблиць об’єктів активних тем з темою *напрямок\_удару* з подальшим агрегуванням даних таблиць у полі *НАПРЯМОК* (див. рис. 7). Порядок роботи такий.

1. Зробити активними теми: *ПТРК\_МИЛАН*; *танки\_прот.*; *бмп\_прот.*; *всп\_апач*; *напрямок\_удару*.

2. Натиснути на кнопку *Open Theme Table*, щоб відкрити таблиці властивостей для активних тем.

3. Провести у полі *Shape* попарне поєднання (функція *Join*) кожної атрибутивної таблиці точкової теми з лінійною темою *напрямок\_удару*. Спочатку позначити поле *Shape* лінійної теми *напрямок\_удару*, потім поле *Shape* точкової теми. Натиснути у рядку кнопок активну кнопку *Join*. В атрибутивних таблицях точкових тем з’являється нове поле *Distance*, в якому міститься інформація про відстані об’єктів точкових тем від лінійної теми *напрямок\_удару* (див. рис. 7).

4. Залишити активними теми: *ПТРК\_МИЛАН*; *танки\_прот.*; *бмп\_прот.*; *всп\_апач* і вибрати *Properties* з меню *Theme*. З’являється діалогове вікно *Theme Properties*. У списку ліворуч клацнути на іконці *Definition (Onuc)*.

5. Клацнути на кнопці *Query Builder* (будівник запиту) у діалоговому вікні *Theme Properties*. З’являється діалогове вікно *Query Builder*.

6. У списку *Fields* двічі клацнути на полі *Distance* (Відстань).

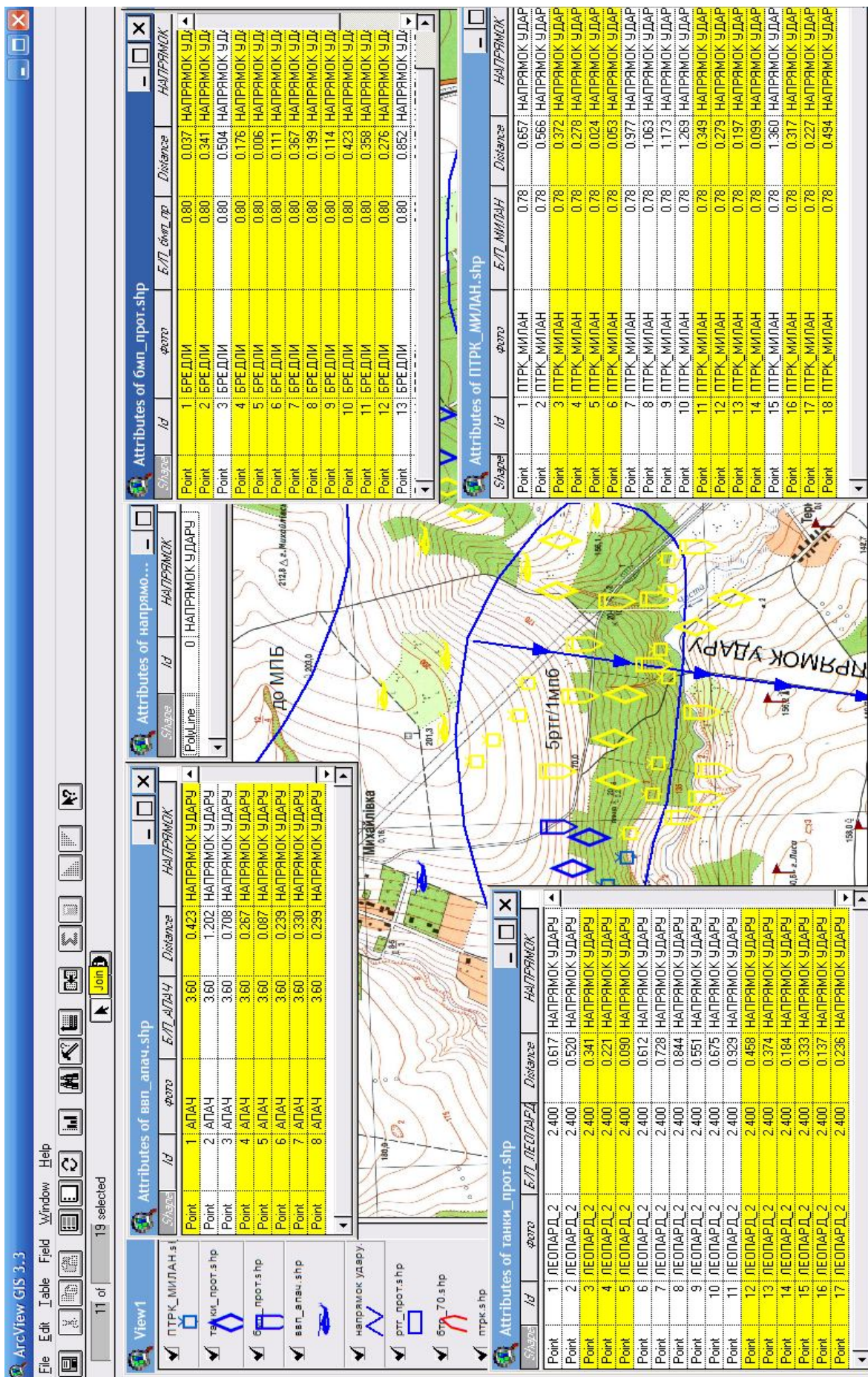


Рис. 7. Вогневі засоби та атрибутивні таблиці вибраних тем наступаючої сторони на фронті 1 км відносно лінійної теми напрямок\_удару

7. Клацнути на кнопці  $\leq$ , потім пролистати список *Values*, поки не буде знайдене число менше 0,500 км, і двічі клацнути на цьому значенні або самостійно ввести число 0.500. Остаточний запит (рис. 8) повинен мати такий вигляд ( $[Distance] \leq 0.500$ ).

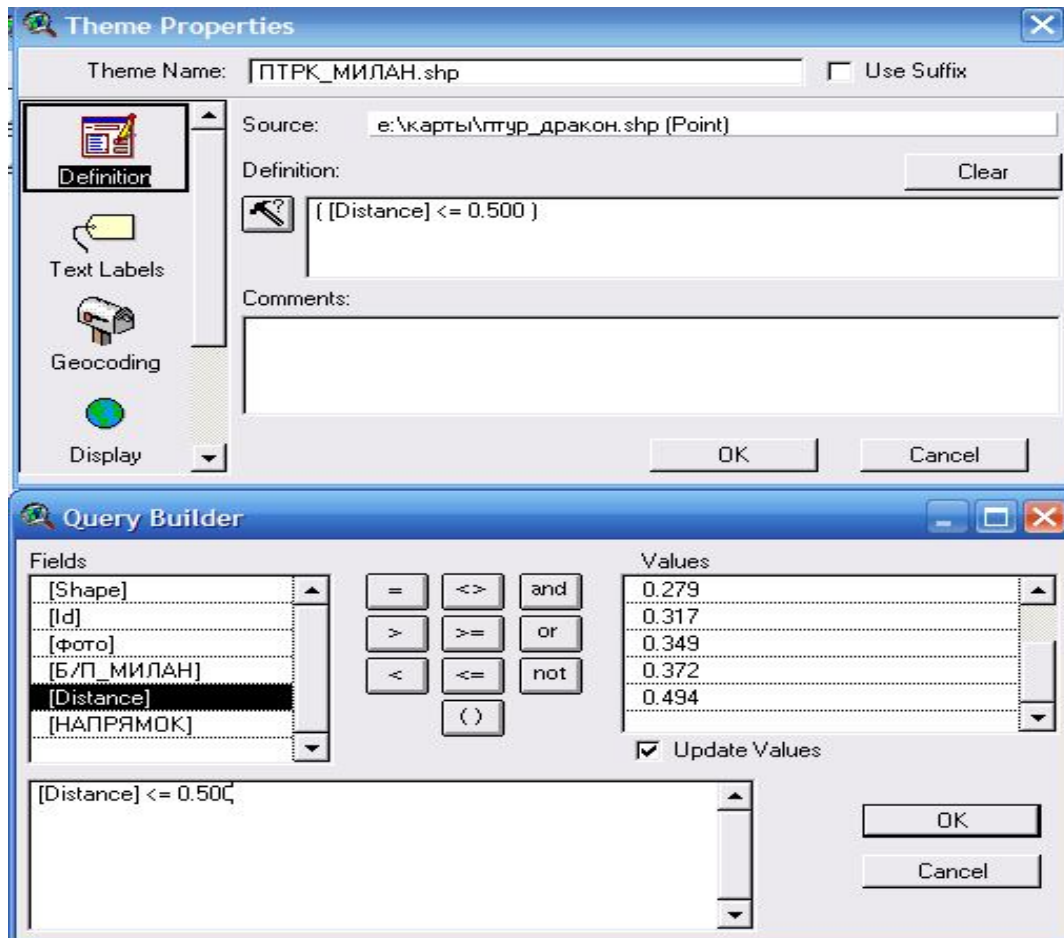


Рис. 8. Діалогові вікна *Theme Properties* і *Query Builder* для відображення об'єктів теми *ПТРК\_МИЛАН*, які мають числове значення у полі *Distance*  $\leq 0.500$

8. Клацнути на кнопці *OK* у *Query Builder*, потім клацнути на кнопці *OK* у діалоговому вікні *Theme Properties*. *Arc View* вибирає, але не виділяє жовтим кольором об'єкти, які відповідають запити. Тепер у вікні *View1* на карті будуть показані тільки ті об'єкти, що розташовані на відстані до 0,500 км від лінії зосередження зусиль противника, інші вогневі засоби будуть приховані.

9. Послідовно в кожній атрибутивній таблиці теми зробити активним поле *НАПРЯМОК* (підвести курсор до назви поля і натиснути ліву кнопку миші). Стає активною у другому рядку інтерфейсу кнопка *Summarize*. Натиснути на кнопку. З'являється діалогове вікно (рис. 9) *Summary Table Definition*.

10. Для активної атрибутивної таблиці *Attributes of вен\_анач* у поле *Field* діалогового вікна (рис. 9) ввести *Б/П\_АПАЧ*, а у полі *Summarize by* виставити *Sum*.

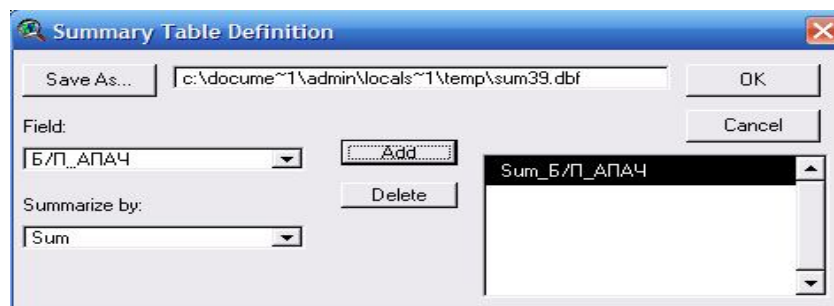



Рис. 9. Діалогове вікно *Summary Table Definition*

11. Натиснути кнопку *Add*. У полі праворуч з'являється напис *Sum\_Б/П\_АПАЧ*. Натиснути кнопку *OK*.

12.Пункти 9–11 виконати для кожної атрибутивної таблиці виділених тем. Після натискання кнопки *OK* у меню *Вид* разом з атрибутивними таблицями тем будуть відображені таблиці сумарних значень бойових потенціалів і загального числа зразків озброєння на фронті 1000 м.

13. За допомогою функції *Join* (піктограма ) виконується послідовне поєднання *dbf* таблиць сумарних значень у полі *НАПРЯМОК* (рис.10).



НАПРЯМОК	Число_АПАЧ	Sum_Б/П_АПАЧ	Число_ЛЕОПАРД	Sum_Б/П_ЛЕОПАРД	Число_МИЛАН	Sum_Б/П_МИЛАН	Число_МАРДЕР	Sum_Б/П_бмп_пр
НАПРЯМОК УДАР	6	21.6000	9	21.6000	11	8.5800	11	8.8000

Рис. 10. Підсумкова *dbf* таблиця сумарних значень чисельності та бойових потенціалів зразків озброєння СИНІХ у полі *НАПРЯМОК*

Для наочного зображення результатів, наведених у таблиці, оператор використовує компонент *Arc View – Create Chart* (Створити діаграму).

1. Для активної таблиці *SUM42.dbf* клацнути на кнопці *Create Chart*. Відкривається діалогове вікно *Chart Properties* (рис. 11).

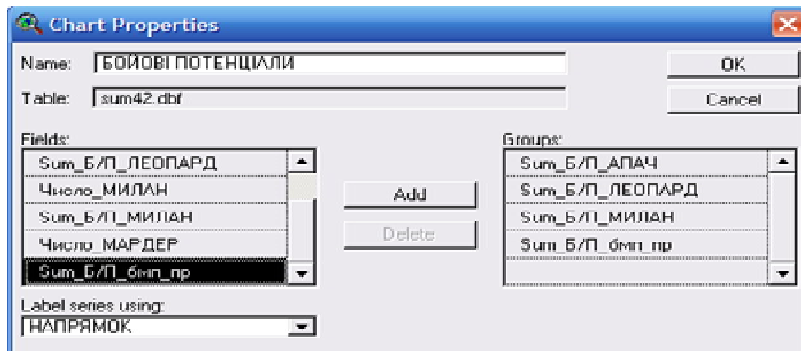


Рис. 11. Діалогове вікно *Chart Properties* (властивості діаграми)

2. У вікні *Name* ввести назву *БОЙОВІ ПОТЕНЦІАЛИ*. Список полів *Fields* показує назви всіх полів, які можуть бути використані в діаграмі.

3. Послідовно вибрати всі поля зі значеннями бойових потенціалів зразків озброєння. У полі *Label* вибрати *НАПРЯМОК*. Після кожного натискання на кнопки *Add* поля будуть поміщені у список *Groups* для відображення в діаграмі.

4. Клацніть *OK*. *ArcView* покаже значення бойових потенціалів зразків озброєння у форматі діаграми за замовчуванням. Аналогічно створюється діаграма чисельності зразків озброєння відповідно до вибраного напрямку наступу противника (рис. 12).

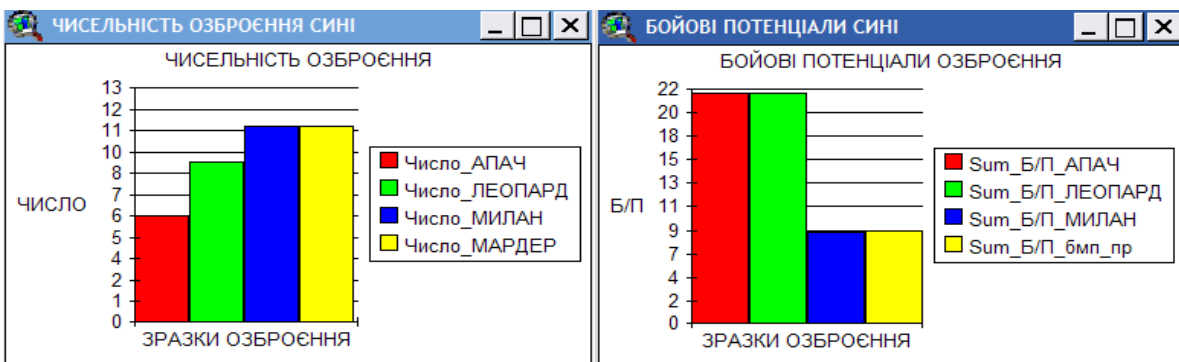


Рис. 12. Діаграми значень бойових потенціалів і чисельності зразків озброєння СИНІХ відповідно до вибраного напрямку наступу

Для внесення змін у діаграму, що стосуються її назви (*TITLE*), властивостей і назви осей (*Chart Axis Properties*), оператор використовує інструмент *Chart Element Properties* (Властивості елементів діаграми) і кнопку *Series from Records/Fields* (Серія із записів / полів).

Так само оцінюють бойові можливості КАЛИНОВИХ з відображенням даних у сумарній таблиці і на діаграмах (рис. 13).

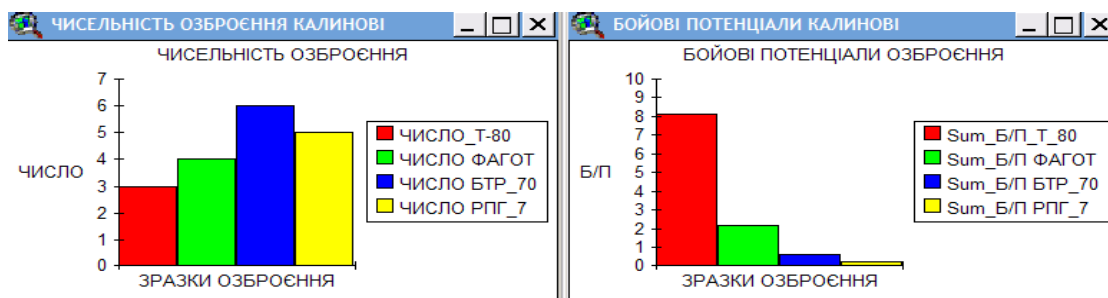


Рис. 13. Сумарна таблиця та діаграми значень бойових потенціалів і чисельності зразків озброєння КАЛИНОВИХ відповідно до вибраного напрямку наступу СИНІХ

З метою визначення можливостей КАЛИНОВИХ щодо стримування наступу СИНІХ офіцер-оператор у кожній *dbf* таблиці створює три нових поля. У першому полі розміщується сума бойових потенціалів зразків озброєння сторін, у другому і третьому – координати центрів бойових угруповань сторін. Створені *dbf* таблиці додаються як теми подій до меню *Вид* і конвертуються у *shp* файли з послідовним відображенням у *Вид* і можливістю наступного поєднання за допомогою функції *Join*. Поєднана атрибутивна таблиця теми дозволяє оператору провести остаточні розрахунки сумарних бойових потенціалів сторін відповідно до вибраного алгоритму і відобразити результати безпосередньо в середовищі *ArcView* (рис. 14).

Отримані графічні результати бойових можливостей сторін командир показує в пояснювальній

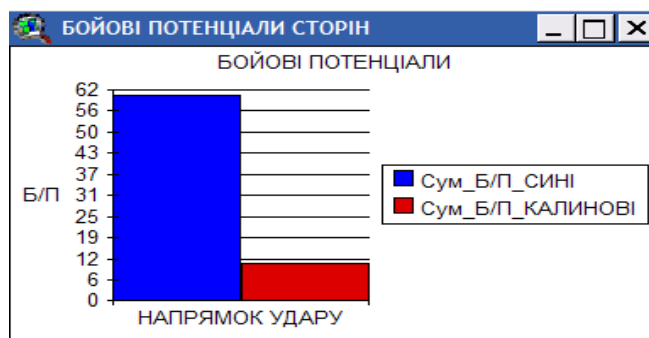


Рис. 14. Діаграми значень бойових потенціалів озброєння сторін відповідно до вибраного напрямку наступу СИНІХ

записці до свого рішення на карті, а чисельні результати використовує в аналітичних виразах з метою математичної обґрунтованості прийнятого рішення та розроблення пропозицій стосовно вогневої підтримки бою засобами старшого начальника.

Основним підґрунтям для формулювання раціонального рішення командира є чіткий розрахунок співвідношення протилежних сторін. Щоб зробити обґрунтовані висновки з оцінювання обстановки, командир розраховує бойові можливості своїх військ порівняно з силами та засобами противника [6]. Вихідними даними для цього є: типи бойової техніки і озброєння, їх бойові потенціали, допустимі втрати сторін, математичне сподівання ступеня ураження сторін (*M*) вогнем артилерії та ударами авіації.

Математичне сподівання ступеня ураження сторін вогнем артилерії та ударами авіації з досвіду війн може сягати:

- для підрозділу в обороні 0,4–0,6;
- для підрозділу в наступі 0,2–0,3.

Втрати, за яких втрачається боєздатність підрозділу в різних видах бою, такі:

- у наступі 0,3–0,35;
- в обороні 0,5–0,6;
- у зустрічному бою 0,5.

Можливості підрозділу щодо отримання переваги над противником в обороні  $MO(Z1, Z2, M)$  розраховуються за допомогою виразу:

$$MO(Z1, Z2, M) = \frac{Kn \left\{ \sum_{i=1}^K БПсв_i [1 - (Z1 - Z2 - M)] \right\}}{\sum_{j=1}^{\Phi} БПпр_j (1 - M)}, \quad (2)$$

де  $Z1$  – втрати підрозділу в обороні в період висування противника до рубежу переходу в атаку (артилерійська підготовка атаки противника);  $Z2$  – ступінь ураження підрозділу в обороні, за якої він втрачає боєздатність;  $M$  – математичне сподівання ступеня ураження підрозділів противника під час вогневої підготовки відбиття наступу противника та вогневої підтримки військ, що обороняються;  $БПсв_i$  – значення показника бойового потенціалу  $i$ -го типу озброєння своїх військ [6];  $БПпр_j$  – значення показника бойового потенціалу  $j$ -го типу озброєння військ противника [6];  $Kn$  – коефіцієнт переваги підрозділу в обороні над підрозділом у наступі;  $K$  – кількість типів озброєння своїх військ;  $\Phi$  – кількість типів озброєння військ противника.

Вираз (2) дає можливість командирю оцінити вплив вогневих засобів старшого начальника на підтримку свого підрозділу у ході виконання поставленого бойового завдання.

Результати можливостей КАЛИНОВИХ (посиленої стрілецької роти) в обороні залежно від ступеня ураження підрозділу під час вогневої підготовки та підтримки атаки противника для визначених вихідних даних протиборчих сторін наведені на рис. 15.

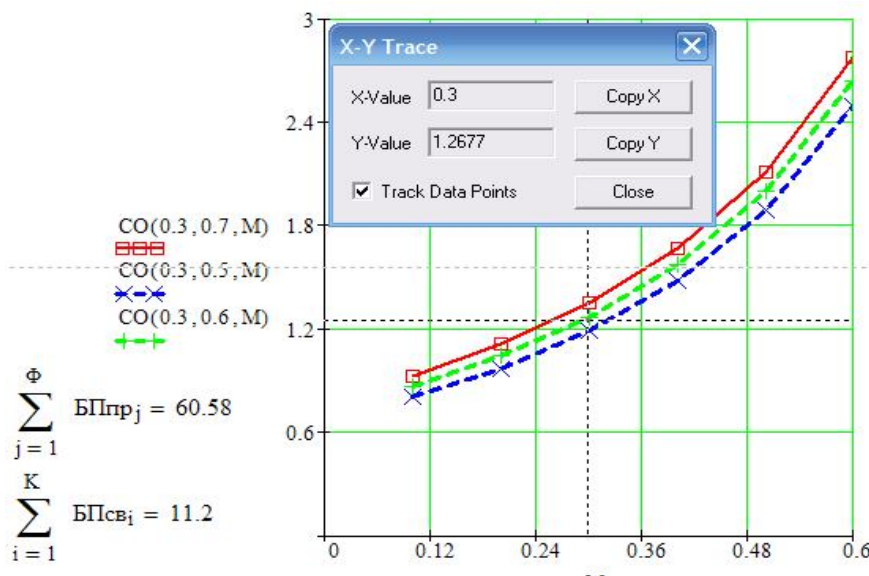


Рис. 15. Можливості КАЛИНОВИХ в обороні залежно від ступеня ураження підрозділів противника під час вогневої підготовки відбиття наступу противника та вогневої підтримки військ, що обопоняються

Графіки на рис. 15 показують, що за значень бойових потенціалів протиборчих сторін:

$$\sum_{i=1}^K БПсв_i = 11,2 \text{ – загальний бойовий потенціал КАЛИНОВИХ, } \sum_{j=1}^{\Phi} БПпр_j = 60,58 \text{ – загальний}$$

бойовий потенціал СИНІХ (див. рис. 14), загальних втратах підрозділу в обороні у період висування противника до рубежу переходу в атаку (артилерійська підготовка атаки противника)  $Z1=0,3$ ; значенні ступеня ураження підрозділу в обороні, за якого він втрачає боєздатність  $Z2=0,6$ , посиленна стрілецька рота може виконати поставлену бойову задачу з утримання оборони опорного пункту роти [ $MO(Z1, Z2, M)=1,2677$  (пунктирна лінія позначена хрестом)] у разі завдання підрозділам противника під час вогневої підготовки відбиття наступу та вогневої підтримки військ, що обороняються, ураження  $M=0,3$ .

Для визначення можливостей ведення оборонного бою протиборчими сторонами з урахуванням просторових показників опорного пункту роти доцільно скористатися математичним апаратом, суть якого полягає в отриманні чисельного результату співвідношення [4]:

$$\Gamma_{\max} = \frac{\left( \sum_{j=1}^{\Phi} \text{БПнр}_j \right) \cdot \Pi_{36} \cdot \Phi_0 \cdot \Gamma_0 \cdot (1 - Z_n) \cdot K_{ун}}{\left( \sum_{i=1}^K \text{БПсв}_i \right) \Pi_{кв} \cdot \Phi_n \cdot \Gamma_{нз} \cdot (1 - Z_0) \cdot K_{уо} \cdot КП}, \quad (3)$$

де  $Z_0$  – показник ступеня втрат підрозділу в обороні до початку бою (%);  $Z_n$  – показник ступеня втрат підрозділу у наступі до початку бою (%);  $K_{ун}$  – показник умов ведення бойових дій у наступі;  $K_{уо}$  – показник умов ведення бойових дій в обороні;  $\Phi_0$  – ширина опорного пункту підрозділу, який обороняється перед фронтом підрозділу у наступі (км);  $\Gamma_0$  – глибина опорного пункту підрозділу, який обороняється перед фронтом підрозділу у наступі (км);  $\Pi_{36}$  – показник запланованих втрат підрозділу у наступі (%);  $\Pi_{кв}$  – показник критичних втрат підрозділу, який обороняється перед фронтом підрозділу у наступі (%);  $\Phi_n$  – показник ширини ділянки прориву підрозділу у наступі (км);  $\Gamma_{нз}$  – показник глибини бойового завдання підрозділу у наступі (км);  $КП$  – коефіцієнт переваги підрозділу в обороні над підрозділом у наступі;  $\Gamma_{\max}$  – розрахункова глибина просування військ.

Після завершення розрахунків порівнюють розрахункову глибину  $\Gamma_{\max}$  просування військ з наміченою (отриманою від старшого командира) глибиною  $\Gamma_{нз}$  бойового завдання. Якщо  $\Gamma_{\max} > \Gamma_{нз}$ , то можна зробити висновок, що підрозділ успішно виконає бойову задачу, а втрати основного озброєння і бойової техніки не перевищуватимуть встановленого ступеня втрат. Якщо  $\Gamma_{\max} < \Gamma_{нз}$ , то підрозділи противника не виконають задачу наступу на визначену глибину із запланованим ступенем втрат. Аналіз функції на рис. 16 показує, що для визначених умов ведення бою і завдання 30 % ( $Z_n=0,3$ ) втрат підрозділу у наступі до початку бою підрозділ в обороні спроможний виконати бойове завдання, тому що виконується нерівність  $\Gamma_{\max} < \Gamma_{нз}$  ( $\Gamma_{\max}/\Gamma_{нз} = 0,86475$ ).

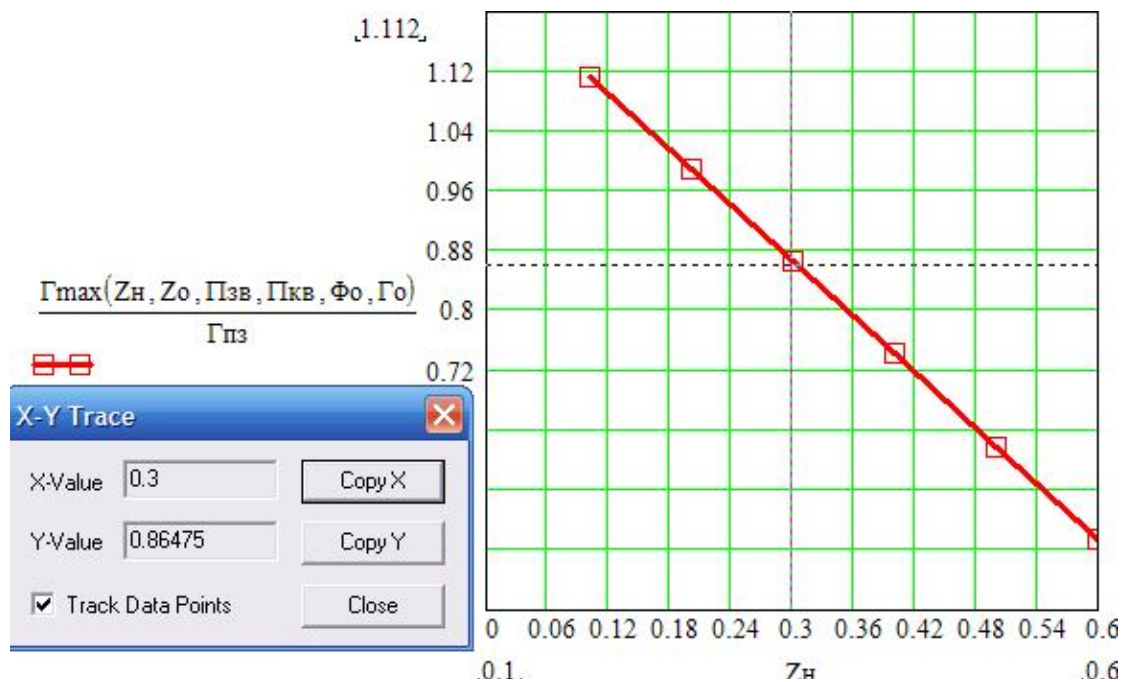


Рис. 16. Можливості підрозділу СИНІХ з прориву оборони КАЛИНОВИХ залежно від ступеня втрат  $Z_n$  підрозділу в наступі під час вогневої підготовки відбиття наступу та вогневої підтримки підрозділу, що обороняється

Для забезпечення виконання отриманого завдання в заданих умовах командир підрозділу, який веде наступ, доцільно переглянути можливості підвищення ступеня втрат підрозділу, який обороняється, до початку бою за рахунок залучення додаткових сил і засобів вогневого ураження (артилерії, авіації, засобів ВТЗ) або збільшення часу їх використання та обсягу їх вогневих завдань. За відсутності такої можливості доцільно переглянути показники фронту наступу та глибину отриманого підрозділами бойового завдання у наступі.

### **Висновки**

ГІС-технології дозволяють полегшити найбільш складні етапи роботи командира з організації бою: виявити напрямок зосередження основних зусиль противника; провести розрахунки співвідношення бойових можливостей сторін; оцінити вплив вогневих засобів (бойових дій) старшого начальника, сусідів на результат виконання бойового завдання. Саме для вирішення таких проблемних питань можливе використання сучасних ГІС-технологій, як складника системи підтримки прийняття рішення командиром з організації загальновійськового бою під час виконання підрозділами внутрішніх військ службово-бойових завдань з оборони важливих об'єктів і комунікацій.

### **Список використаних джерел**

1. Бугаевский, Л. М. Геоинформационные системы [Текст] : учеб. пособие / Л. М. Бугаевский, В. Я. Цветков. – М. : Златоуст, 2000. – 222 с.
2. Потапычев, С. Н. Геоинформационная система как основа поддержки принятия решений [Текст] / С. Н. Потапычев, А. В. Панькин // Инновации. – 2003. – № 8. – С. 11.
3. Бойовий статут Сухопутних військ (батальйон, рота) [Текст]. – К. : Варта, 1998. – Ч. II– 288 с.
4. Обрядін, В. В. Методичні рекомендації до роботи з геоінформаційними системами для аналізу просторових даних у середовищі ArcView GIS версії 3.2 [Текст] / В. В. Обрядін, І. М. Патракеєв. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2011. – 73 с.
5. Геоінформаційне забезпечення службово-бойової діяльності внутрішніх військ [Текст] : навч. посіб. / І. Ю. Бірюков, В. І. Воробйов, В. Є. Лісцин та ін. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2011. – ч. 1 : Подання та аналіз просторових даних. – 132 с.
6. Якубов, В. О. Методика визначення бойових можливостей механізованих (танкових) підрозділів, частин, з'єднань [Текст] : навч. посіб. / В. О. Якубов, Б. М. Дембовський, М. М. Багінський. – К. : НАОУ, 2000. – 108 с.

*Стаття надійшла до редакції 05.04.2013 р.*



УДК 629.017

М. А. Подригало, Д. М. Клец

## МОДЕЛЬ НЕЛІНІЙНОГО ВІДВЕДЕННЯ ЕЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА АВТОМОБІЛЯ

Запропоновано просту нелінійну модель відведення шини колеса автомобіля з використанням відомих експериментальних залежностей бічної сили від кута відведення.

К л ю ч о в і с л о в а: автомобіль, колесо, нелінійне відведення.

**Постановка проблеми** Явищу бічного відведення шин коліс автомобіля присвячено значну кількість науково-дослідних робіт. У результаті визначено, що залежність між кутами відведення і бічними силами є нелінійною. Відношення бічної сили до кута відведення отримало назву коефіцієнта опору бічному відведенню шини (коефіцієнта відведення шини).

Традиційно для малих кутів відведення вважалося, що коефіцієнт відведення шини – величина стала. Це відповідало лінійній частині залежності бічної сили від кута відведення шини. Для оцінювання впливу різних чинників на величину коефіцієнта відведення деякими авторами була запропонована система поправкових (коригувальних) коефіцієнтів. Однак це значно ускладнювало математичну модель руху автомобіля з відведенням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Явище відведення колеса з пневматичною шиною у 1925 р. визначив Г. Брульє [1], а результати першого експериментального дослідження цього явища були опубліковані в роботі Г. Беккера, Х. Фрома, Х. Маруна у 1931 р. [2]. Серйозний аналіз праць з дослідження явища відведення колеса з пневматичною шиною виконано О. С. Литвиновим [3]. Кількісна оцінка бічного відведення еластичного колеса у вигляді залежності між бічною силою  $P_y$  та кутом відведення  $\delta$  запропонована Я. М. Певзнером [4]. Вона має вигляд:

$$P_y = K_y \cdot \delta, \quad (1)$$

де  $K_y$  – коефіцієнт опору бічному відведенню шин (коефіцієнт відведення).

Залежність (1) виконується для малих значень кутів відведення  $\delta$ . Спрощений вигляд залежності бічної сили від кута бічного відведення наведено на рис. 1 [11].

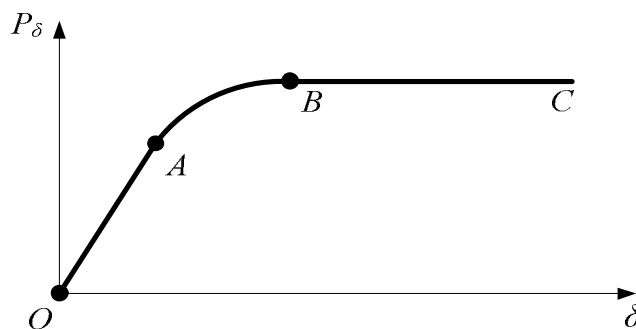


Рис. 1. Спрощений вигляд залежності бічної сили від кута бічного відведення

Цю криву можна розбити на три ділянки: похила лінійна, криволінійна і лінійна горизонтальна. Похила лінійна ділянка  $OA$  (рис. 1) відповідає відведенню без ковзання, криволінійна ділянка  $AB$  – коченню з відведенням та частковим проковзуванням. Лінійна горизонтальна ділянка  $BC$  відповідає чистому ковзанню.

Залежність (1) виконується для похилої лінійної ділянки  $OA$ , тобто для відносно невеликих кутів відведення  $\delta$ . У цьому випадку:

$$K_y = K_{y_0} = \partial P_y / \partial \delta, \quad (2)$$

де  $K_{y_0}$  – тангенс кута нахилу кривої  $K_y(\delta)$  на початку координат.

На ділянках  $AB$  і  $BC$  коефіцієнт відведення  $K_y$  змінний, оскільки  $\partial P_y / \partial \delta = \text{var}$ .

У роботах [3; 5] визначено, що коефіцієнт опору бічному відведенню шини залежить від великої кількості факторів, основними з яких є: розміри і конструкція колеса, тиск повітря в шині, величини сил, діючих на колесо, швидкість руху, тип і стан дорожнього покриття, форма траєкторії руху центра колеса (прямолінійна, криволінійна), кривизна траєкторії і швидкість її зміни за часом або шляхом, характер прикладання сил, діючих на колесо, і швидкість зміни цих сил. Вплив зазначених факторів не дозволяє використовувати лінійну теорію відведення. У роботі Д. О. Антонова [5] пропонується використовувати нелінійну теорію відведення. Сутність її полягає в тому, що залежність бічної сили від кута відведення описує рівняння:

$$P_y = K_y \cdot \delta = q \cdot K_{y_{0\delta}} \cdot \delta = q_N \cdot q_T \cdot q_\phi \cdot q_V \cdot q_{\approx} \cdot q_{ш} \cdot q_{zp} \cdot q_{zy} \cdot q_{ny} \cdot K_{y_{0\delta}}, \quad (3)$$

де  $q$  – загальний коефіцієнт корекції коефіцієнта відведення;  $q_N$  – коефіцієнт корекції, що враховує перерозподіл нормальних реакцій між колесами;  $q_T$  – коефіцієнт корекції, що враховує вплив дотичних (тягових і гальмівних) навантажень;  $q_\phi$  – коефіцієнт корекції, що враховує зміну зчіпних властивостей колеса з дорогою;  $q_V$  – коефіцієнт корекції, що враховує зміну нахилу коліс до опорної поверхні у випадку крену;  $q_{ш}$  – коефіцієнт корекції, що враховує вплив тиску повітря в шині;  $q_{zy}$  – коефіцієнт корекції, що враховує вплив задніх напрямних коліс;  $q_{ny}$  – коефіцієнт корекції, що враховує нелінійність залежності бічної сили від кута відведення;  $q_{\approx}$  – коефіцієнт корекції, що враховує коливання невідвіреної маси автомобіля;  $q_{zp}$  – коефіцієнт корекції, що використовують у моделюванні руху автомобіля по ґрунтовій поверхні;  $K_{y_{0\delta}}$  – коефіцієнт відведення шини для лінійної теорії.

Нелінійна теорія відведення еластичного колеса автомобіля використана в роботах [3; 5–10]. Найбільш істотними факторами, що впливають на коефіцієнт опору бічному відведенню еластичності шин автомобіля, є: нормальне навантаження  $R_Z$ , дотична реакція на колесі  $R_X$ , вплив кута відведення на нелінійній частині залежності бічної сили  $P_\delta$  від кута відведення, тиск повітря в шині. Саме тому в більшості досліджень автори обмежуються введенням тільки корегуючих коефіцієнтів  $q_N, q_T, q_{ny}, q_{ш}$ .

У 1958 р. О. С. Литвиновим [3] була запропонована емпірична формула для визначення коефіцієнта відведення від нормального навантаження на колесо:

$$K_y = K_{y_{\max}} - A_y \left( \left| R_{Z_{\text{opt}}} - R_Z \right| \right)^n, \quad (4)$$

де  $K_{y_{\max}}$  – максимальне значення коефіцієнта відведення;  $R_{Z_{\text{opt}}}$  – нормальна реакція на колесі, відповідна отриманню  $K_{y_{\max}}$ ;  $A_y$  – коефіцієнт пропорційності;  $n$  – показник ступеня, що визначається дослідним шляхом.

Формула (4) в роботі [3] представлена у вигляді:

$$K_y = \frac{K_{y_{\max}}}{R_{Z_{\text{opt}}}^n} \left[ R_{Z_{\text{opt}}}^n - \left( \left| R_{Z_{\text{opt}}} - R_Z \right| \right)^n \right]. \quad (5)$$

Перетворимо (5) до вигляду:

$$K_y = K_{y_{\max}} \left[ 1 - \left( \left| 1 - \frac{R_Z}{R_{Z_{\text{opt}}}} \right| \right)^n \right] = K_{y_{\max}} \cdot q_N. \quad (6)$$

З формули (6) видно, що вона дає симетричні значення  $K_y$  щодо  $R_{Z_{\text{opt}}}$  і недостатньо точно відображає реальну залежність  $K_y$  від  $R_Z$ . Для висхідної гілки достатньо точна залежність запропонована в роботі [3] за умови  $n = 2$ :

$$K_y = K_{y_{\max}} \frac{R_Z}{R_{Z_{\text{opt}}}} \left( 2 - \frac{R_Z}{R_{Z_{\text{opt}}}} \right) = K_{y_{\max}} \cdot q_N. \quad (7)$$

У роботі [3] також пропонується залежність, яка дає гарне наближення до реальних значень коефіцієнта відведення:

$$K_y = K_{y_{\max}} \left[ 2,4 \cdot \frac{R_Z}{R_{Z_{\text{opt}}}} - 1,8 \cdot \left( \frac{R_Z}{R_{Z_{\text{opt}}}} \right)^2 + 0,4 \cdot \left( \frac{R_Z}{R_{Z_{\text{opt}}}} \right)^3 \right] = K_{y_{\max}} \cdot q_N. \quad (8)$$

З посиланням на роботи Р. Смілея та В. Горна у роботі [3] також наведена формула, що дозволяє визначати коефіцієнт відведення залежно від внутрішнього тиску повітря в шині  $P_W$ :

$$K_y = C_c \cdot \left( A - \frac{E}{P_W} \right), \quad (9)$$

де  $C_c$  – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від конструкції шини;

$$A = 0,714 \cdot R_Z \cdot \sqrt{\frac{B_{ш}^2}{D_0^3}}; \quad (10)$$

$$E = 2,2 \cdot \frac{R_Z^2 \cdot B_{ш}}{D_0^3}; \quad (11)$$

$B_{ш}$  – ширина профілю недеформованої шини;  $D_0$  – вільний діаметр шини.

У роботі [3] з посиланням на роботу В. О. Іларіонова наведена залежність:

$$K_y = K_l (P_W + 1), \quad (12)$$

де  $K_l$  – коефіцієнт, що залежить тільки від розмірів шини.

У роботі [5] запропонована залежність для визначення коефіцієнта відведення у випадку дії дотичної реакції на колесо:

$$K_y = K_{y_0} \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{R_X}{\varphi \cdot R_Z} \right)^2} = K_{y_0} \cdot q_T, \quad (13)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою.

Використання системи коефіцієнтів корекції ускладнює моделювання процесу руху автомобіля у разі застосування нелінійної теорії кочення еластичного колеса з відведенням.

**Метою статті** є створення математичної моделі нелінійного відведення еластичного колеса без використання коригувальних коефіцієнтів.

Для досягнення зазначеної мети необхідно виконати такі завдання:

– обґрунтувати нелінійну модель бічного відведення еластичного колеса без використання коефіцієнта відведення;

– проаналізувати отриману математичну модель.

**Виклад основного матеріалу.** Аналізуючи характер кривої, зображеної на рис. 1, зробимо висновок, що математично зазначена крива може бути представлена залежністю:

$$P_y = P_{y_{\max}} \cdot \frac{\delta}{K + \delta}, \quad (14)$$

де  $P_{y_{\max}}$  – максимальне значення бічної сили, відповідне лінійній горизонтальній ділянці  $BC$  на рис. 1;  $K$  – сталий коефіцієнт для конкретної конструкції шини за заданих значень внутрішнього тиску в ній.

За умови  $\delta = 0$  на ділянці  $OA$  слушне співвідношення (2). Для цього випадку з рівняння (14) визначимо:

$$P_y = P_{y_{\max}} \lim_{\delta \rightarrow 0} \frac{\delta}{K + \delta} = \frac{P_{y_{\max}}}{K}, \quad (15)$$

звідки:

$$K = \frac{P_{y_{\max}}}{P_y}. \quad (16)$$

Для ділянки  $OA$  можна скористатися лінійною теорією відведення. З урахуванням виразу (1), рівняння (16) матиме, за умови  $K_y = K_{y_0}$ , такий вигляд:

$$K = \frac{P_{y_{\max}}}{K_{y_0} \cdot \delta}. \quad (17)$$

Підставляючи (17) у (14), остаточно отримаємо:

$$P_y = P_{y_{\max}} \cdot \frac{\delta}{\frac{P_{y_{\max}}}{K_{y_0} \delta} + \delta} = \frac{K_{y_0} \cdot \delta^2}{1 + \frac{K_{y_0} \cdot \delta^2}{P_{y_{\max}}}}. \quad (18)$$

Величина  $P_{y_{\max}}$  визначається граничними зчіпними можливостями шини в бічному напрямку. За відсутності дотичної реакції на колесі:

$$P_{y_{\max}} = \varphi \cdot R_Z. \quad (19)$$

За умови виникнення дотичної реакції на колесі:

$$P_{y_{\max}} = \sqrt{\varphi^2 R_Z^2 - R_X^2}. \quad (20)$$

На рис. 2 суцільною лінією наведено графіки залежності бічної сили від кута відведення для трьох шин, взяті з роботи [3]. На цьому ж рисунку наведені графіки апроксимуючих залежностей (14). Експериментально визначено, що для шини типу  $P$  з металевим кордом:  $P_{y_{\max}} = 7223$  Н та  $K = 0,2$ . Для шини типу  $P$  з текстильним кордом:  $P_{y_{\max}} = 3006$  Н та  $K = 0,0914$ . Для звичайної шини з текстильним кордом:  $P_{y_{\max}} = 4572$  Н та  $K = 0,261$ .

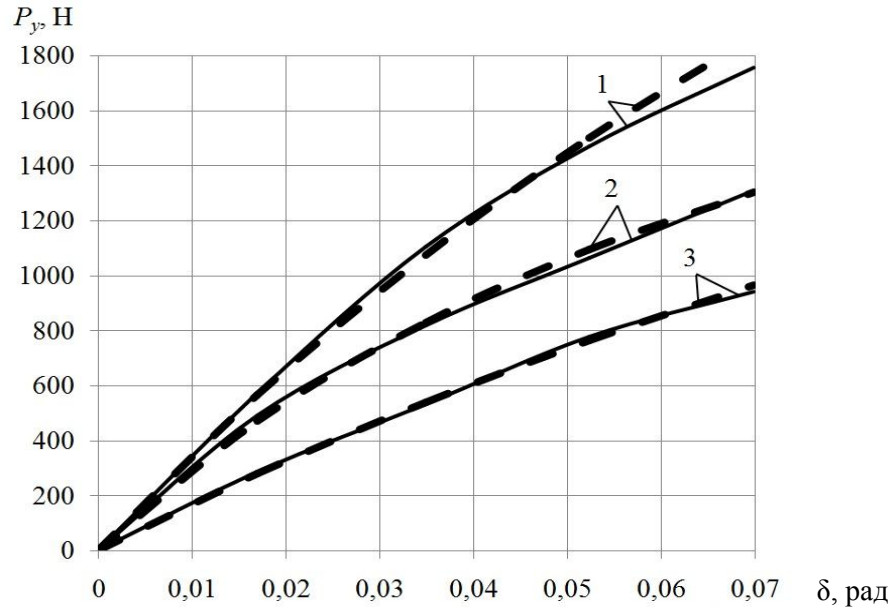


Рис. 2. Залежність бічної сили, що діє на колесо, від кута відведення:  
 1 – шина типу  $P$  з металевим кордом; 2 – шина типу  $P$  з текстильним кордом;  
 3 – звичайна шина з текстильним кордом; — експериментальні дані [3];  
 - - апроксимуючі залежності (14)

Таким чином, запропонований аналітичний вираз (14) дозволяє з достатньою точністю описати нелінійний зв'язок кута відведення з діючою на еластичне колесо бічною силою.

Очевидно, що коефіцієнт опору бічному відведенню еластичного колеса можна розглядати як окрему похідну бічної сили від кута відведення не тільки на лінійній ділянці  $OA$  (рис. 1), а й у всьому діапазоні зміни бічної сили  $P_y$  і кута відведення  $\delta$ .

Після диференціювання рівняння (14) за  $\delta$ , отримаємо:

$$K_y = \frac{\partial P_y}{\partial \delta} = P_{y_{\max}} \cdot \frac{K}{(K + \delta)^2}. \quad (21)$$

Аналізуючи вираз (21), можна зробити висновок, що зі збільшенням кута відбувається зменшення коефіцієнта відведення  $K_y$ . Причому величини  $\delta$  і  $K_y$  зв'язані гіперболічною залежністю, що відповідає результатам експериментальних досліджень, наведеним у роботі [3]. Підставляючи вираз для  $P_{y_{\max}}$  з рівняння (20) у співвідношення (21), отримаємо:

$$K_y = \sqrt{\varphi^2 \cdot R_Z^2 - R_X^2} \cdot \frac{K}{(K + \delta)^2}. \quad (22)$$

Підставляючи вираз (17) у формулу (21), після перетворень отримаємо:

$$K_y = \frac{K_{y_0} \cdot \delta}{\left(1 + \frac{K_{y_0} \cdot \delta^2}{P_{y_{\max}}}\right)^2}. \quad (23)$$

Вираз (23) з урахуванням (20) матиме вигляд:

$$K_y = \frac{K_{y_0} \cdot \delta}{\left[ 1 + \frac{K_{y_0} \cdot \delta^2}{\sqrt{\varphi^2 \cdot R_Z^2 - R_X^2}} \right]^2}. \quad (24)$$

Аналіз виразу (24) показує, що із збільшенням нормальної реакції  $R_Z$  на колесі коефіцієнт опору бічному відведенню зростає, а зі збільшенням дотичної реакції  $R_X$  – зменшується. Це відповідає результатам, наведеним у роботі [3].

Виконуючи розрахунки, потрібно визначити кути відведення шин передніх і задніх коліс за відомих бічних сил, що діють на них. З виразу (14) визначимо кут відведення:

$$\delta = \frac{K}{\frac{P_{y_{\max}}}{P_y} - 1}. \quad (25)$$

Підставляючи вираз (17) у рівняння (25), після перетворень отримаємо:

$$\delta = \left[ K_{y_0} \left( \frac{1}{P_y} - \frac{1}{P_{y_{\max}}} \right) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (26)$$

### Висновки

1. У випадку використання теорії нелінійного відведення еластичного колеса застосування системи коефіцієнтів корекції ускладнює моделювання процесу руху автомобіля за умови дії бічної сили.

2. Отриманий аналітичний вираз залежності кута відведення від діючих на колесо сил дозволяє значно спростити моделювання процесу руху автомобіля та аналізування впливу різних факторів на цей процес у разі використання теорії нелінійного відведення.

### Список використаних джерел

1. Broulhiet G. La Suspension de la direction de la voiture automobile. Schimmi et dandinement. "Societe des Ingeniers Civils de France", 1925, Bulletin 78.
2. Becker G., Fromm H., und Marunu H. Schwingungen in Automobillenkunden, Berlin, 1931.
3. Литвинов, А. С. Устойчивость и управляемость автомобиля [Текст] / А. С. Литвинов. – М. : Машиностроение, 1971. – 416 с.
4. Певзнер, Я. М. Боковой увод автомобиля [Текст] / Я. М. Певзнер // Автомобильный мотор, 1939. – № 4. – С. 51.
5. Антонов, Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей [Текст] / Д. А. Антонов. – М. : Машиностроение, 1978. – 216 с.
6. Завьялова, Л. И. Повышение устойчивости движения многоосного автомобиля за счёт рационального выбора числа колесных осей и схемы рулевого управления [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.22.02 / Л. И. Завьялова. – К., 1997. – 27 с.
7. Стельмашук, В. В. Поліпшення показників керованості та стійкості триланкових автопоїздів [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.22.02 / В. В. Стельмашук. – К., 2005. – 18 с.
8. Банніков, В. О. Покращення показників маневреності та стійкості руху мікроавтомобіля [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.22.02 / В. О. Банніков. – К., 2011. – 20 с.
9. Макаров, В. А. Наукові основи поліпшення курсової стійкості руху легкового автомобіля [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.22.02 / В. А. Макаров. – К., 2011. – 38 с.
10. Григорашенко, О. В. Підвищення керованості та стійкості руху автомобілів категорії М1 [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.22.02 / О. В. Григорашенко – К., 2009. – 20 с.
11. Вопросы динамики торможения и рабочих процессов тормозных систем автомобилей / [Б. Б. Генбом, Г. С. Гудз, В. А. Демьянюк и др.]; под ред. Б. Б. Генбома. – Львов : Вища шк., Изд-во при Львов. ун-те, 1974. – 234 с.

*Стаття надійшла до редакції 24.11.2012 р.*

УДК 621.391

Ю. П. Белокурський, О. М. Горбов, О. Ю. Іохов, В. Є. Козлов, І. В. Кузьминич,  
О. О. Щербина

## ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ У КАНАЛАХ УПРАВЛІННЯ ПІДРОЗДІЛАМИ ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК МВС УКРАЇНИ

Розглянута можливість використання антен діапазонів VHF/UHF з імпровізованим рефлектором для захисту інформації, яка циркулює у контурі управління тактичної ланки внутрішніх військ МВС України, та придушення каналів радіозв'язку порушника при виконанні службових завдань.

Ключові слова: захист інформації, радіозв'язок.

**Постановка проблеми та аналіз публікацій.** Під час виконання службових завдань підрозділами внутрішніх військ (ВВ) МВС України виникає потреба захисту інформації у своїх каналах управління та виявлення і придушення каналів управління протидіючої сторони. У забезпеченні завдань зазвичай використовують антени з направленими властивостями, діапазони частот яких визначаються штатними і масовими засобами радіозв'язку, що застосовуються. Вимоги до антен такі: малі габарити, конструктивна та експлуатаційна простота, можливість маскуванню (вбудовуванню) в техніку або спорядження, захисне співвідношення не менше 30 дБ, ширина діаграми спрямованості 35–45°. Деякі типи таких антен діапазонів GSM, 3G розглянуті у роботах [1; 2; 3]. Як джерела завад можливо використовувати штатні радіостанції та генератори завад.

Випромінювання антени у зворотньому напрямку і наявність бокових пелюсток спричиняють завади власним каналам управління та опромінювання особового складу, особливо для джерел, потужність яких 20–50 Вт. Захисний коефіцієнт антени має враховувати вимоги електромагнітної сумісності та безпеки особового складу [4].

Вимоги до розмірів антен пов'язані з їх коефіцієнтом корисної дії (ККД) і смугою пропускання, тому при проектуванні електрично малих антен потрібно шукати компроміс між розмірами, ККД і шириною смуги [5]. Додатково необхідно враховувати необхідність встановлення (монтажу) антени на транспортному засобі або наявності захисного оснащення.

Для цього існує багато способів вибору форми і конструкції, навантаження, використовуваних провідних і діелектричних матеріалів і т. п. Також існує велика кількість варіантів побудови плоских спрямованих антен мінімального розміру [6]. Всю безліч варіантів можна звести до двох систем: “опромінювач над екраном” та “щілина в екрані”. Габарити антени першого типу визначаються довжиною хвилі, розмірами екрана і відстанню від опромінювача до екрана. Антена типу “решітка з щілин в екрані” забезпечує мінімальну товщину, але щілини порушують цілісність і міцність діаграмоутворюючої поверхні. У роботах [7; 8] розглянуті ефективні засоби комп'ютерного моделювання таких антен.

**Мета статті** – проаналізувати можливість побудови антени VHF/UHF діапазонів, запропонувати рекомендації щодо елементів конструкції, заходи підвищення ефективності її використання під час виконання підрозділами ВВ службових завдань.

**Виклад основного матеріалу.** Виходячи з вимог простоти конструкції, легкої установки, мобільності та цілісності поверхні, як імпровізований рефлектор розглянемо захисний металевий щит [9] – вирізку з циліндра, радіус якого  $a = 520$  мм, висота 1000 мм і ширина  $h = 615$  мм. У його центрі розміщено утримувач з симетричним вертикальним вібратором.

Визначимо, за якого значення фокуса  $f$  параболи існуватиме максимальне наближення параболічної поверхні до заданої циліндричної поверхні, тобто визначимо відстані між характерними точками (рис. 1).

$$OB = OA = a = 520 \text{ мм.}$$

$$BC = h/2 = 615/2 = 307,5 \text{ мм.}$$

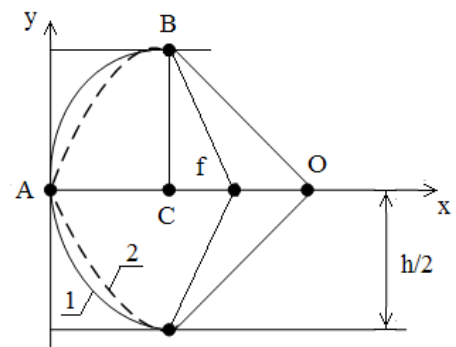


Рис. 1. Вибір апроксимації профілю поверхні захисного щита

$$OC = \sqrt{OB^2 - BC^2} = \sqrt{520^2 - 307,5^2} = 419,3 \text{ мм.}$$

$AC = AO - OC = 520 - 419,3 \approx 100 \text{ мм}$  (глибина захисного щита).

Координати точок:  $A = [0; 0]$ ;  $B = [100; 307,5]$ .

Рівняння параболи:  $y^2 = 4 \cdot f \cdot x$ . Застосуємо його до точки  $B$  і розрахуємо відстань до фокуса параболи:  $f = y^2/4x = BC^2/4AC = 94556,25/400 \approx 236,4 \text{ мм}$ .

Фокус  $f$  відносно точки  $O$  (центра кола) знаходиться на відстані:

$$AO - f = 520 - 236,4 = 283,6 \text{ мм.}$$

Відстані до характерних точок досліджуваної системи

(рис. 2):

– глибина відбивного дзеркала чи щита (циліндричного або параболічного)  $AC = 100 \text{ мм}$ ;

– місце установки опромінювача для параболи  $Af = 236,4 \text{ мм}$ ;

– місце установки опромінювача для циліндра  $AO = 520 \text{ мм}$ .

Розрахуємо абсолютну різницю апроксимації  $\Delta = |x_n - x_k|$ ,

де  $x_n = y^2/4f = y^2/4 \cdot 236,4$  – абсциса параболи;  $x_k = OA - \sqrt{OB^2 - y^2} = 520 - \sqrt{520^2 - y^2}$  – абсциса кола.

Результати розрахунків зведемо в табл. 1.

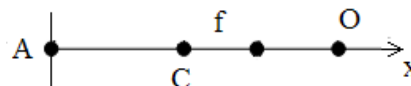


Рис. 2. Характерні точки досліджуваної системи

Таблиця 1

$y$ , мм	0	100	150	180	200	220	225	250	300	307,5
$x_k$	0	9,7	22,1	32,1	40,0	48,8	51,2	64,0	95,3	100,0
$x_n$	0	10,6	23,8	34,3	42,3	51,2	53,5	66,1	95,2	100,0
$\Delta$ , мм	0	0,9	1,7	2,2	2,3	2,4	2,3	2,1	0,1	0

Аналіз табл. 1 дозволяє зробити такі висновки.

1. Абсциси кола і параболи максимально відрізняються одна від одної в діапазоні значень 180 – 230 мм. Різниця  $\Delta = 2,2 \text{ мм}$  відносно середньої довжини хвилі VHF/UHF частотних діапазонів мізерно мала. Отже, форма циліндричної поверхні реального щита практично не відрізняється від параболічної поверхні за умови рівних розмірів апертури. Така близькість поверхонь зумовлює практичну ідентичність направлених властивостей випромінювача з відбивачем у вигляді циліндричної та параболічної поверхонь за рівних апертур та інших ідентичних умовах.

2. Принциповим є зменшення відстані від дзеркала до фокуса  $f$  параболи, порівняно з відстанню від щита до точки  $O$  центра кола.

З урахуванням отриманого оцінимо характеристики системи з симетричним одноелементним випромінювачем і циліндричною відбивною поверхнею. Результати наведено в табл. 2: VHF діапазон ( $f_{сер} = 155 \text{ МГц}$ ); UHF діапазон ( $f_{сер} = 435 \text{ МГц}$ ).

Таблиця 2

	VHF діапазон					UHF діапазон				
$\lambda_{сер}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$G$ , дБ	7,48	7,08	6,23	4,78	4,62	9,94	9,78	9,11	7,50	4,21
$F/B$ , дБ	9,49	9,96	9,25	6,86	1,91	11,1	14,25	15,11	13,85	5,85
$2\Theta_{0,1}(H)$	194°	200°	220°	256°	–	136°	140°	156°	194°	270°
$2\Theta_{0,1}(E)$	114°	118°	124°	136°	138°	84°	90°	98°	116°	144°
$K_{сер}$	–	1,22	1,62	1,88	1,65	1,80	1,47	1,95	1,90	1,34

Аналіз табл. 2 дає змогу дійти такого висновку: у діапазоні VHF антена з щитом-рефлектором малоефективна. Більш ефективно рішення – антена на основі площинного відбивача з зигзагоподібним широкосмуговим випромінювачем або щільна антенна решітка з декількох елементів.

На рис. 3 наведені діаграми спрямованості решітки із одного fAR( $\Theta$ ), двох fAR(2,  $\Theta$ ) і трьох fAR(3,  $\Theta$ ) щитів з опромінювачами.



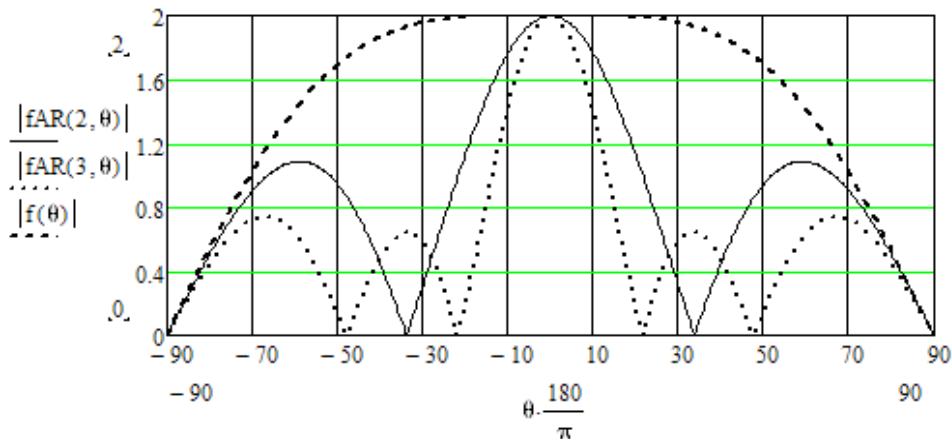


Рис. 3. Діаграми спрямованості одно-, дво- і триелементної антени

Для одного вібратора (над нескінченним екраном) ширина діаграми за рівнем 0,5 становить  $140^\circ$  при частоті 435 МГц.

Антенна решітка з трьох елементів дозволяє формувати головну пелюстку діаграми прийнятної ширини для пеленгації та придушення.

Для зменшення зворотного випромінювання необхідно передбачити пристосування для з'єднання щитів із забезпеченням гальванічного контакту. Подачу коливань на вібратори потрібно здійснювати через узгоджені розподільники.

### Висновки

Досліджена спрямована антена з імпровізованим рефлектором на основі захисного щита. Результати дослідження дають змогу пропонувати такі рішення.

У діапазоні VHF можливе застосування зигзагоподібної ширококугової антени з площинним або кутовим рефлектором або щілинної антени на основі металізованої тканини.

У діапазоні UHF ефективність придушення засобів зв'язку протидіючої сторони може бути забезпечена шляхом нарощування кількості випромінюючих антен з установкою елементів уздовж лінії (шеренгою) або дугою. З оперативною метою для мінімізації обсягу придушення можливе придушення з різних напрямків.

Наведення "променя" на задану область простору (об'єкт придушення) можна забезпечити за допомогою найпростішого прицільного пристрою – візирної труби.

### Список використаних джерел

1. Белокурський, Ю. П. Антенна система заглушення радіокерованих вибухових пристроїв [Текст] / Ю. П. Белокурський, В. Є. Козлов, В. В. Поповський, О. О. Щербина // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2007. – Вип. 1–2 (9–10). – С. 20–23.
2. Белокурський, Ю. П. Антенна система заглушення каналів радіокерування вибуховими пристроями для повітряного носія [Текст] / Ю. П. Белокурський, В. М. Захаров, В. Є. Козлов, О. О. Щербина // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2010. – Вип. 2 (16). – С. 50–54.
3. Белокурський, Ю. П. Антенна системи захисту інформації [Текст] / Ю. П. Белокурський, В. М. Захаров, В. Є. Козлов, О. О. Щербина // Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України. – 2011. – Вип. 1 (17). – С. 46–50.
4. Наказ про введення в дію державних санітарних правил і норм від 01.08.1996 № 239 [Копія] / МОЗ України. – К.
5. Современное состояние исследований малогабаритных антенн [Текст] / В. П. Киселев и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1990. – № 5. – С. 54–60.
6. Широкополосные малогабаритные антенны УКВ диапазона [Текст] / В. П. Киселев и др. // Зарубежная радиоэлектроника. – 1990. – № 2. – С. 82–87.
7. Давыдов, А. Г. Возможности программы ЭДЭМ для разработки устройств антенной техники [Текст] / А. Г. Давыдов, Ю. В. Пименов // Антенны. – 2006. – № 10. – С. 27–32.
8. Гончаренко, И. В. Антенны КВ и УКВ [Текст] / И. В. Гончаренко. – М. : ИП РадиоСофт, 2004. – ч. 1: Компьютерное моделирование. – С. 56–63.
9. Щит противоударный алюминиевый "Форт-ЩПА" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : URL : <http://www.fort.vn.ua/>. – Загл. с экрана.

Стаття надійшла до редакції 20.02.2013 р.

УДК 656.13

Р. І. Топчій

## ФОРМУВАННЯ ПІДХОДІВ ДО СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ БРОНЕТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

Розглянуто питання інтеграції теорії енергетичного підходу в систему оцінювання умов експлуатації бронетехніки під час виконання службово-бойових завдань та визначення показника “шум прискорення” БТР-60ПБ у бойових умовах експлуатації.

*К л ю ч о в і с л о в а:* бронемашина, умови експлуатації, службово-бойове завдання, шум прискорення, групи експлуатації.

**Постановка проблеми.** Сучасні службово-бойові завдання (СБЗ) все частіше набирають форми спеціальних операцій та змінюють широкомасштабні воєнні дії на локальні воєнні конфлікти, переміщуючись у густонаселені території держави (міста, селища) або місцевості зі складними гірсько-лісовими рельєфами, трансформуючи при цьому традиційне розуміння ведення бойових дій на короткотривале локальне озброєне протистояння. Наприклад, у настановах американської армії вже сьогодні продекларовано, що “урбанізована місцевість буде для збройних сил США найбільш імовірним районом ведення військових операцій у всьому світі”.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Багатий досвід іноземних, у тому числі сусідніх, держав з ведення військових операцій змушує замислитися про здатність вітчизняного війська до такого роду бойових дій у зазначених умовах [1]. Обсяг та складність сучасних воєнних конфліктів спонукає до глибокого аналізу можливостей та перспектив вітчизняних сил і засобів ведення бойових дій у разі виникнення такої необхідності.

Ефективність виконання поставлених завдань, передусім, залежить від технічного забезпечення Збройних Сил України і внутрішніх військ зокрема. Воно формує матеріально-технічну основу їх боєздатності шляхом проведення відповідних заходів, спрямованих, насамперед, на своєчасне забезпечення військ необхідною кількістю озброєння, сучасної військової та спеціальної техніки, боєприпасами і військово-технічним майном.

Якісний та кількісний аналіз окремих видів озброєння та військової техніки показує, що оснащеність військових частин і підрозділів ними для виконання СБЗ є не на належному рівні. Сучасних зразків озброєння та військової техніки, особливо вантажних дизельних автомобілів підвищеної прохідності у військах критично не вистачає. Автомобілі типів “Урал”, “Камаз”, які у різноманітних воєнних конфліктах виявились найбільш надійними та конструктивно вдалим, складають лише  $\frac{1}{15}$  від загальної кількості автомобільного парку військ. Не є кращою і ситуація з бронетехнікою (недостатня кількість бронемашин та їх технічний стан). Так, у 100 % одиниць бронетехніки внутрішніх військ перебільшено 20-річний термін експлуатації, а у 8 % з них – 30-річний термін. Бронетехніка військ за марками та чисельністю розподіляється таким чином (рис. 1).

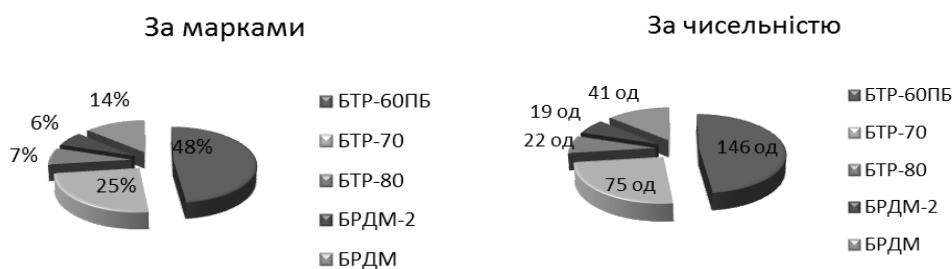


Рис. 1. Розподіл бронетехніки внутрішніх військ

Внутрішні війська МВС України укомплектовані переважно БТР-60 та БТР-70. Зазначені зразки були розроблені та прийняті на озброєння у 1960 та 1970 р відповідно. БТР проектували з урахуванням особливостей загальновійськового бою в складі мотострілецьких підрозділів. Їх тактичне призначення – транспортування особового складу мотострілецьких підрозділів до поля бою та вогнева підтримка. Воно залишається актуальним і сьогодні, але умови виконання завдань дещо змінилися, що не може бути поза увагою фахівців технічного забезпечення. Сучасні методи ведення бойових дій змушують переглядати встановлені за радянські часи норми експлуатації машин. Спираючись на бойовий досвід внутрішніх військ Росії, слід відзначити, що в період першої чеченської кампанії перевищення міжремонтних строків склало: для БТР–31 % до середнього ремонту й 6 % до капітального, для автомобілів – 29 % і 6 % відповідно. Таке значне перевищення міжремонтних строків пояснюється недосконалістю та відсутністю наукового підходу до системи оцінювання умов експлуатації машин, що також унеможливило прогнозування кількості машин, які можуть вийти з ладу протягом бойових дій. Під час воєнного конфлікту кожна транспортна одиниця виходила з ладу за різних причин у середньому 2-3 рази. При цьому 65...85 % такої техніки підлягали поточному ремонту, 6...12 % – середньому, 4...9 % – капітальному, близько 14 % склали не відновлювані втрати.

Перш ніж пропонувати сучасні шляхи удосконалення системи оцінювання умов експлуатації, з'ясуємо зміст системи “бронемашина–водій”. Вона функціонує в складній бойовій обстановці, що постійно змінюється як у часі, так і у просторі [2]. Розмежування обстановки і системи умовне й визначається умовами виконаного бойового завдання. Ефективність функціонування цієї системи залежить від психофізіологічних якостей командира машини, її водія та технічних характеристик бронетранспортера. Взаємозв'язок окремих елементів системи броньованого транспорту представлено на рис. 2.

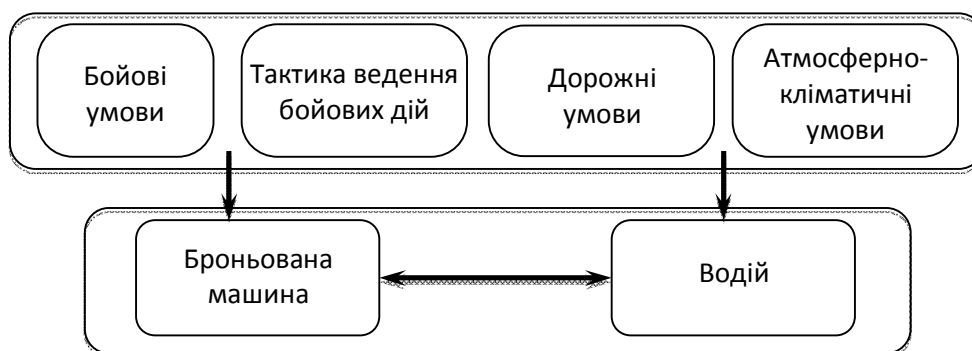


Рис. 2. Структурна схема броньованого транспорту як динамічної системи

Разом з достатньо дослідженими умовами експлуатації (дорожніми, атмосферно-кліматичними) і культурою експлуатації на особливу увагу заслуговують бойові умови.

Під бойовими умовами слід розуміти психологічний стрес або, інакше кажучи, емоційний фон водія машини та її командира; високу ймовірність бойових пошкоджень броньованої машини та ушкоджень особового складу; обмежений час виконання поставленого завдання та, враховуючи характер сучасних бойових дій, обмеженість простору ведення бою.

**Мета статті** – визначення параметрів, що характеризують умови експлуатації бронетехніки у бою, визначення впливу умов експлуатації на основні експлуатаційні показники машини та на значення параметра “шум прискорення” в системі удосконалення оцінювання умов експлуатації.

**Виклад основного матеріалу.** Кожен вид умов експлуатації бронетехніки характеризується декількома параметрами, які впливають на основні техніко-експлуатаційні характеристики бронемашини. У табл. 1 наведено параметри, що характеризують умови експлуатації, та критерії оцінювання цих умов [3].

Т а б л и ц я 1

*Характеристика умов експлуатації бронетехніки*

Умови експлуатації	Основні параметри, що характеризують умови експлуатації	Вплив умов експлуатації на основні експлуатаційні показники бронемашини	Основні критерії оцінювання умов експлуатації
Бойові	1. Психологічний стан водія. 2. Ймовірність бойового ураження. 3. Тривалість бою. 4. Габаритні обмеження рухливості бронемашини.	1. Середня технічна швидкість. 2. Середня експлуатаційна швидкість. 3. Кількість та характер бойових пошкоджень. 4. Зношення агрегатів, вузлів машини та шин. 5. Витрата пального.	1. Ступінь виконання завдання. 2. Характер пошкоджень. 3. Середня технічна швидкість.
Тактика ведення бойових дій	1. Щільність, інтенсивність і режим руху. 2. Вид вантажу. 3. Час простою під навантаженням-розвантаженням. 4. Відстань перевезень та частота зупинок.	1. Середня технічна швидкість. 2. Середня експлуатаційна швидкість.	1. Середня технічна швидкість. 2. Середньозважена величина передаточного числа коробки передач.
Дорожні	1. Наявність штучних перешкод. 2. Тип та конструкція дорожнього покриття. 3. Повздовжній профіль. 4. Сумарний коефіцієнт опору дороги. 5. Ступінь рівності покриття. 6. Зчеплення коліс з дорогою.	1. Середня технічна швидкість. 2. Плавність ходу. 3. Гальмівний шлях. 4. Витрата пального. 5. Зношення агрегатів і шин.	1. Середня технічна швидкість. 2. Сумарний опір дороги, ступінь нерівності. 3. Середньозважена величина передаточного числа коробки передач.
Атмосферно-кліматичні	1. Температура повітря. 2. Запиленість та видимість. 3. Наявність опадів.	1. Середньотехнічна швидкість. 2. Витрата пального. 3. Зношення агрегатів та вузлів автомобіля.	1. Середня технічна швидкість. 2. Температура повітря.

Основним показником якості дорожнього руху транспортних засобів є середня швидкість руху, яка повною мірою характеризує якість руху транспортних засобів у мирний час в умовах виконання завдань повсякденної діяльності (більшість вимог до переміщення військової техніки базується саме на цьому параметрі). Середня швидкість руху змішаних колон на марші по дорогах може бути вночі 15...20 км/год, вдень 20...30 км/год. Автомобільні колони можуть рухатися зі швидкістю: вночі 25...30 км/год, вдень 30...40 км/год [4]. Наведені норми не є постійними. За сприятливих умов вони можуть бути вище, і навпаки, за поганих дорожніх та погодних умов швидкість зменшується, особливо коли у похідні колони входять підрозділи і частини з різними маршовими показниками

машин. Значно знижується швидкість руху у випадку здійснення маршруту колонними шляхами в гірській місцевості, на розбитих і пильних дорогах, а також у спеку, туман, снігопад. У горах швидкість руху знижується на 25...30 %. Гірський рельєф, круті підйоми і спуски, велика кількість крутих поворотів та інші дорожні умови знижують маршрутову швидкість. Середня швидкість руху військ у горах становить: вдень 15...20 км/год, вночі 10...15 км/год.

Однак параметр “середня швидкість руху броньованої машини” у процесі ведення сучасних бойових дій не повною мірою характеризує реальні умови експлуатації бронетехніки, особливо під час виконання завдань у містах або на вкрай складній рельєфній місцевості.

У наших дослідженнях показником якості руху є параметр транспортного потоку “шум прискорення” [5]. Вибір цього параметра ґрунтується на декількох причинах: по-перше, він зв’язує такі три основні елементи транспортного потоку, як водій, дорога та бойові умови руху; по-друге, цей параметр є показником рівномірності руху.

Шум прискорення (тобто середнє квадратичне відхилення) можна розглядати як відхилення швидкості бронемашини від рівномірної швидкості або прийняти його за показник рівномірності руху, що безпосередньо пов’язане з прогнозуванням виходу машини з ладу, визначенням міжремонтних ресурсів, безпекою руху в ході виконання СБЗ.

Пропонується розробити єдину класифікацію умов експлуатації бронетехніки, яка застосовуватиметься у будь-яких експлуатаційних розрахунках. Усі можливі поєднання бойових, тактичних, дорожніх та атмосферно-кліматичних умов можна поділити на три групи з такими межами зміни коефіцієнтів: 1 група 1...0,8; 2 група 0,38...0,28; 3 група 0,28...0,18.

Основні показники ефективності роботи бронетехніки для різних умов експлуатації суттєво відрізняються від показників умов експлуатації першої групи. Це дає можливість зробити важливий висновок про те, що загальний моторесурс та міжремонтні ресурси бронемашини залежать від конкретних умов експлуатації машини.

У табл. 2 наведено основні показники ефективності БТР-60 ПБ для різних груп умов експлуатації, отримані на основі відомих методик визначення цих показників.

Т а б л и ц я 2

*Основні показники ефективності роботи БТР-60 ПБ для різних груп умов експлуатації*

Група умов експлуатації	Середня швидкість руху	Відносний коефіцієнт зміни швидкості	Продуктивність	Витрата пального	Пробіг до капітального ремонту
1	60	1,00	1,00	1,00	1,00
2	20	0,38	0,55	1,78	0,60
3	14	0,23	0,35	1,89	0,53

Використання показника “шум прискорення” дає можливість визначити основні показники ефективності зразків бронетехніки з більшою точністю.

Прискорення бронемашини для різних груп умов експлуатації розраховується за формулою:

$$\dot{V}_a = \frac{36 \cdot N_1 \cdot N_{max} \cdot K_k \cdot \eta_{TP} / G_a \cdot V_a - \psi - 0,185 \cdot V_a^2 / G_a}{1 + 0,05(60 / V_a)^2},$$

де  $N_1$  – використання потужності двигуна, %;  $N_{max}$  – максимальна потужність двигуна, кВт;  $K_k = 0,85...0,95$  – коефіцієнт кореляції, що враховує зміну потужності двигуна під час роботи в реальних умовах експлуатації;  $\eta_{TP}$  – ККД трансмісії;  $G_a$  – вага бронемашини, Н;  $V_a$  – швидкість бронемашини, км/год;  $\psi \approx 0,8/V_a$  – коефіцієнт сумарного дорожнього опору.

Коефіцієнт шуму для різних груп умов експлуатації розраховується за формулою:

$$K_{ш} = g \cdot i + 0,185 \cdot V_a^2 / M + \delta \cdot \dot{V}_a,$$

де  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – прискорення вільного падіння;  $i$  – уклон дороги, %;  $M$  – маса автомобіля, кг;  $\delta$  – коефіцієнт урахування обертових мас транспортного засобу;  $\dot{V}_a$  – прискорення транспортного засобу,  $\text{м/с}^2$ .

Результати розрахунків величин  $\dot{V}_a$  та  $K_{ш}$  для бронетранспортера БТР-60ПБ за групами умов експлуатації наведено в табл. 3.

Т а б л и ц я 3

Група умов експлуатації	Середня швидкість руху	$\dot{V}_a$	$K_{ш}$	$\dot{V}_a / K_{ш}$
1	60	–	0,188	–
2	20	0,054	0,326	0,165
3	14	0,078	0,374	0,208

На основі отриманих розрахункових значень побудовано залежності зміни величин  $\dot{V}_a$  (рис. 3) та  $K_{ш}$  (рис. 4) від швидкості руху й використання потужності двигуна БТР-60ПБ.

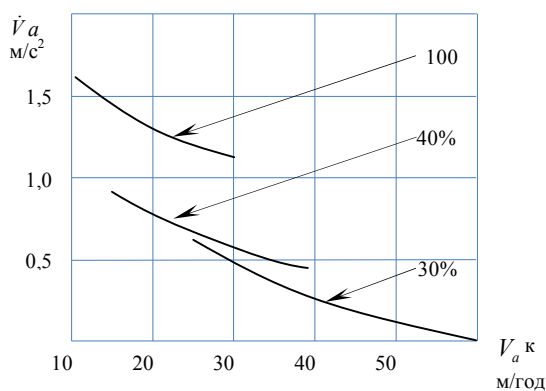


Рис. 3. Зміна величини  $\dot{V}_a$  від швидкості руху для різних значень показника використання потужності двигуна (%) БТР-60ПБ

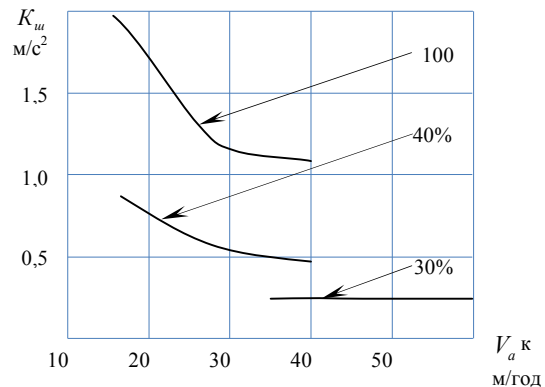


Рис. 4. Зміна величини  $K_{ш}$  від швидкості руху для різних значень показника використання потужності двигуна (%) БТР-60ПБ

Отримані значення шуму прискорення як показника якості руху бронемашини можуть бути використані у різноманітних експлуатаційних розрахунках, таких як розрахунок зниження ресурсу машини, визначення моторесурсу машини та її міжремонтних ресурсів. Введення зазначеного показника в різноманітні методики розрахунків експлуатаційних витрат також надасть можливість їх значно уточнити.

### Висновки

Використання показника “шум прискорення” дозволяє достатньо просто і точно визначити ресурс броньованої машини в різноманітних бойових, тактичних, дорожніх, атмосферно-кліматичних умовах експлуатації, а також визначити періодичність технічних впливів. Він може бути основою моделі діагностування технічного стану агрегатів бронемашин.

### Список використаних джерел

1. Иванов, О. Опыт создания и становления технического обеспечения внутренних войск [Текст] / О. Иванов // Зарубежное военное обозрение. – 2010. – № 10. – С. 46–61.
2. Бабков, Ф. Н. Дорожные условия и безопасность движения [Текст] / Ф. Н. Бабков. – М. : Транспорт, 1993. – 271 с.
3. Говорущенко, Н. Я. Основы управления автомобильным транспортом [Текст] / Н. Я. Говорущенко. – Х. : Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1978. – 225 с.
4. Нормирование скоростей движения автотранспорта [Текст] / Н. Я. Говорущенко, М. А. Смеркус, В. Н. Назаров, Е. И. Хрущева // Автомобильный транспорт. – 1988. – № 2. – С. 13.
5. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ними [Текст] / Д. Дрю; пер. с англ. – М. : Транспорт, 1972. – 424 с.

Стаття надійшла до редакції 20.11.2012 р.

УДК 662.311.2

**В. В. Афанасьєв, В. І. Мокреєв**

### **АНАЛІЗ ПОМИЛОК У ТЕХНІЦІ СТРІЛЬБИ З ПІСТОЛЕТА**

*Розглянуто фактори, що впливають на влучність стрільби із стрілецької зброї. Проведено аналіз помилок у техніці стрільби з пістолета. Визначені головні помилки, які доцільно враховувати під час стрільби з пістолета.*

*К л ю ч о в і с л о в а:* техніка стрільби, прицілювання, спускання курка.

**Постановка проблеми.** Під час виконання повсякденних службово-бойових завдань підрозділами та частинами ВВ МВС України основною зброєю особового складу є пістолет. Від влучного та своєчасного пострілу часто залежить життя стріляючого. Пістолет застосовують у межах, визначених чинним законодавством, і тільки у випадках, коли превентивні дії (заходи фізичного впливу та спеціальні засоби) не мали належного впливу на порушника. Таких ситуацій під час виконання службових завдань може бути багато.

Досвід проведення занять з вогневої підготовки показує, що навіть обізнані стрільці не завжди розуміють сутність допущених під час стрільби із пістолета помилок. Аналіз помилок та факторів, які впливають на результати стрільби, дозволить обмірковано виправляти похибки під час стрільби і з високою точністю вражати цілі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Всебічне та найбільш повне дослідження факторів, які впливають на влучність стрільби із стрілецької зброї, було проведено видатними вітчизняними та закордонними вченими в галузі стрілецької справи. За результатами цих досліджень [1] всі фактори, що впливають на влучність стрільби, залежно від їхнього походження можна поділити на чотири групи.

1. Зовнішні фактори: атмосферні умови (зміни температури, тиску, швидкості і напрямку вітру), місцевість, на якій ведеться стрільба.

2. Фактори, що визначаються якостями патрона: точність виготовлення окремих елементів патрона, точність спорядження патрона, фізико-хімічні властивості пороху.

3. Фактори, що залежать від зброї: точність її виготовлення, знос, несправність, віддача, розташування центра ваги, вібрація ствола, вплив прицільних пристосувань.

4. Фактори, що залежать від стрільця: складання зброї та підготовка її до стрільби, приготування до стрільби, прицілювання, здійснення пострілу, визначення поправок.

У разі стрільби на великі та середні відстані влучність стрільби, головним чином, залежить від зовнішньобалістичних факторів (перша і друга групи) і точності визначення початкових даних для внесення поправок, що враховують температуру, вітер, кут місця цілі, швидкість руху цілі (для стрільби по рухомих цілях) та ін. На коротких відстанях (ближній бій) влучність стрільби, в основному, залежить від зброї та стрільця, а вплив зовнішніх умов і факторів, що залежать від якості патронів, різко зменшується. Зауважимо, що особисті якості стрільця дуже суттєво впливають на влучність стрільби у всіх випадках, особливо у разі стрільби з особистої короткоствольної зброї.

**Мета статті:** розглянути помилки в техніці стрільби з пістолета та визначити основні з них, від яких суттєво залежить результат.

**Виклад основного матеріалу.** Підготовлені стрільці можуть впевнено вражати із пістолета цілі на відстані до 50 м в обмежений час, не допускаючи промахів, що не є привілеєм вузького кола обдарованих людей [2]. Навчитися влучно стріляти із пістолета може кожний. Для цього необхідно ретельно розглянути техніку стрільби, визначити характерні помилки та способи їх усунення.

Зазвичай техніку стрільби розглядають у такій послідовності: приготування, прицілювання, дихання, спускання курка [3; 4]. Однак стрільбу слід розглядати не як просту послідовність цих дій, а як єдиний процес, в якому всі елементи взаємопов'язані та взаємообумовлені.

Виконувати зазначені дії слід одночасно, координуючи їх між собою. Для того щоб всіх їх під час пострілу виконати правильно та легко, слід попередньо кожен дію розглянути та вивчити як самостійну.

Перший елемент техніки стрільби – приготування. Будь-який його спосіб передбачає алгоритм постановки кожної частини тіла стрільця, що пов’язане з положенням зброї. Поза повинна забезпечувати стрільцю ефективне управління зброєю під час її наведення та виключати всі можливі коливання. Вибір виду приготування не відіграє вирішальної ролі у досягненні високих результатів стрільби. Важливим є вміння стрільця досягти нерухомого положення у вибраному ним варіанті приготування за оптимального напруження м’язів.

Розглянемо другий елемент техніки стрільби – прицілювання. Зброя, що утримується людиною, завжди матиме деякі коливання, обумовлені низкою фізіологічних причин [5]. Неможливо досягти ідеальної стійкості, за якої зброя буде абсолютно нерухомою. У випадку стрільби з однієї руки виникають два основних види коливань [5]:

- 1) коливання всієї руки відносно плечового суглоба, за яких вся зброя “гуляє” відносно мішені;
- 2) коливання у кистьовому суглобі, за яких візуально спостерігаються коливання мушки у прорізу цілика.

Крім того є малозначні коливання в ліктьовому суглобі й попереку, а також хитання всього тіла відносно підлоги. Отже, маємо багатоланкову систему обмеженої стійкості з безліччю степенів вільності, амплітуда коливань якої залежить від тренуваності стрільця та зазвичай збільшується під час натискування на спусковий гачок або у разі виникнення стресових ситуацій.

У роботі [5] за допомогою обчислень автором визначено вплив коливань на влучність стрільби. Так, у випадку паралельних коливань зброї (рис. 1) в межах 3 мм і рівній мушці у прорізу цілика, зміщення середньої точки влучення на відстані 25 м складає 9,3 см.

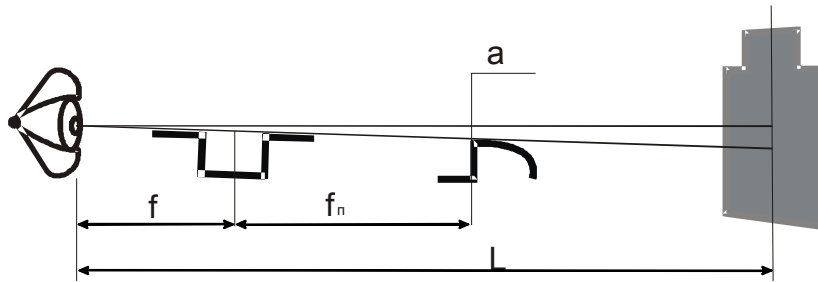


Рис. 1. Паралельні коливання пістолета:  $a$  – коливання зброї у вертикальній площині;  $L$  – відстань до цілі;  $f$  – середня відстань від ока до цілика;  $f_n$  – довжина прицільної лінії

У випадку кутових коливань зброї під час стрільби, коли повністю відсутній бічний зазор у прицільному пристосуванні, тобто мушка “притиснута” до цілика (рис. 2), зміщення середньої точки влучення на відстані 25 м складає 10,4 см.

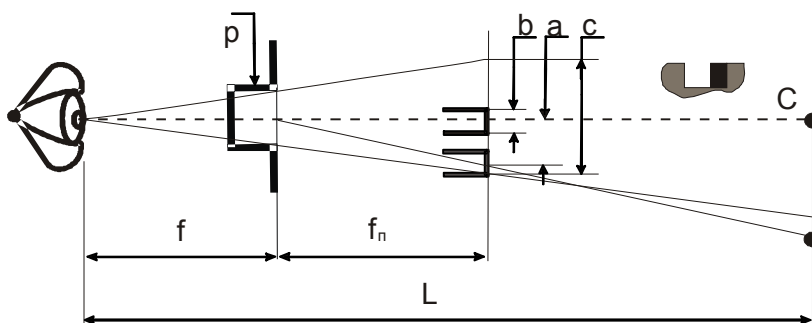


Рис. 2. Зміщення середньої точки влучення у випадку “притиснутої” мушки до цілика:  $a$  – величина зміщення мушки від центра прорізу цілика;  $b$  – ширина мушки

Отже, у випадку стрільби на 25 м, навіть при коливанні всієї зброї й бічному зміщенні мушки у прорізу цілика, забезпечується влучення у коло діаметром 20 см, тобто у “дев’ятку” мішені № 4 (грудна фігура).

Таким чином, причина поганої стрільби не стільки у помилках прицілювання, скільки у інших помилках техніки стрільби.

Процес виконання пострілу тісно пов’язаний із регулюванням дихання стрільця. Під час вдихання та видихання відбувається переміщення всього плечового поясу, що спричинює зміщення руки та відхилення рівної мушки від точки прицілювання. Для того, щоб правильно розподілити дихання,



перед пострілом необхідно зробити вдих, після чого, повільно видихаючи, поступово затримати дихання, сконцентрувати увагу на утриманні рівної мушки біля точки прицілювання та на плавному спусканні курка.

Розглянемо останній елемент техніки стрільби – спускання курка, яке повинно бути узгоджено з видимою картиною прицілювання.

Зауважимо, що ідеальну картину прицілювання можна розглядати лише теоретично, коли чітко видно мушку у прорізу і точку прицілювання та відсутні коливання елементів прицільного пристосування.

Насправді стрілок спостерігає, як зброя “гуляє” по мішені, а мушка “скаче” у прорізу цілика. Всі ці коливання збільшуються з початком натискання на спусковий гачок. За малого досвіду стрільби через такі коливання виникає природне бажання “піймати десятку” і швидко натиснути на спусковий гачок. Результатом буде значний промах.

На фізіологічному рівні це можна пояснити так. Вестибулярний апарат людини влаштований таким чином, що мозок не може віддати команду на скорочення лише одного м’яза. З цієї причини обов’язково будуть скорочуватись як довколишні м’язи, так і абсолютно сторонні. У результаті виникатимуть кутові відхилення зброї, що спричинить зміщення точок влучення на мішені, хоча стрільцю здавалося, що зброя була ідеально наведена на ціль. Тому під час прицілювання та здійснення пострілу не слід звертати особливу увагу на незначні коливання пістолета відносно цілі, потрібно безперервно плавно натискати на спусковий гачок. Однак поняття “плавність” не означає уповільнення. Вказівний палець стрільця здійснює чітку одномоментну дію без різких ривків та без участі інших пальців руки. Його першу нігтьову фалангу накладають на спусковий гачок. Друга фаланга ні в якому разі не повинна торкатися рукоятки пістолета. Ідеальним вважається такий спуск гачка, коли стрілець не знає точно, в який момент відбудеться постріл.

### **Висновок**

Спускання курка у виконанні влучного пострілу має першочергове значення та є показником, що визначає ступінь підготовленості стрільця. Основні помилки під час стрільби виникають внаслідок неправильного спускання курка. Помилки прицілювання та коливання зброї дозволяють досягти достатніх результатів стрільби, тоді як помилки спускання курка неминуче призводять до різкого збільшення розсіювання та значних промахів.

**Напрямок подальших досліджень** є більш детальне вивчення впливу спускання курка на влучність стрільби з метою надання практичних рекомендацій щодо усунення помилок в процесі виконання пострілу.

### **Список використаних джерел**

1. Основания устройства стрелкового оружия [Текст] / [под ред. В. Н. Зайцева]. – М. : Воен. издат., 1953. – 366 с.
2. Малышев, В. А. Основы стрельбы из служебного пистолета [Текст] / В. А. Малышев. – Л. : Высш. политическое уч-ще 60-летия ВЛКСМ МВД СССР, 1988. – 70 с.
3. Иткис, М. А. Специальная подготовка стрелка-спортсмена [Текст] / М. А. Иткис. – М. : Изд-во ДОСААФ, 1982. – 128 с.
4. Минин, Р. А. Техника стрельбы из пистолета и вопросы методики [Текст] / Р. А. Минин. – М. : Воен. издат., 1954. – 68 с.
5. Ефимов, Е. Б. Огневая подготовка в охранном предприятии. Стрельба из служебных пистолетов и револьверов [Текст] : учеб. пособие / Е. Б. Ефимов, Ю. Н. Буряк. – СПб. : [б.и.], 2001. – 101 с.

*Стаття надійшла до редакції 05.01.2013 р.*

УДК 621.8

П. І. Літовченко, В. М. Нечипоренко, В. А. Сало, Л. П. Іванова

## НОВИЙ НАУКОВО ОБҐРУНТОВАНИЙ МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ ПОСАДОК З НАТЯГОМ

*Пропонується метод вибору остаточного проектного рішення у розрахунку посадок з натягом на основі вибору раціонального сполучення значень трьох варійованих параметрів з використанням спеціальної комп'ютерної програми.*

*Ключові слова: посадка з натягом, автоматизований розрахунок, варійовані параметри посадок, мінімальний питомий тиск, максимальний граничний натяг.*

**Постановка проблеми.** У наш час, коли виробляється велика кількість нових конструкційних матеріалів з новими властивостями і широким спектром застосування, дослідження механізму створення посадок з натягом набуває актуальності та підвищеного наукового й практичного значення. Створення міцних, надійних, високотехнологічних з'єднань елементів машин, що забезпечується використанням посадок з натягом, стримується недостатнім дослідженням, з одного боку, фізико-механічних характеристик нових матеріалів, з іншого – процесів фрикційного контакту матеріалів.

Вирішенню цієї проблеми приділяється значна увага, як у нашій країні, так і багатьох зарубіжних країнах, наприклад, у Німеччині, США та ін. [1], в яких проводять експериментальні й теоретичні дослідження вказаних з'єднань.

Одним з актуальних напрямків є аналітично-статистичні дослідження параметрів посадок з натягом на етапі їх автоматизованого розрахунку. Використання спеціальних комп'ютерних програм дозволяє врахувати всі можливі навантажувальні, експлуатаційні та технологічні фактори, які з різним ступенем імовірності впливають на міцність і надійність посадки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Автори робіт [2; 3] розв'язували плоску задачу розрахунку посадки з натягом для безшпонкового з'єднання по циліндричній поверхні для випадку механічного пресування вала з маточиною зубчастого колеса фіксованої довжини з'єднання, в результаті чого отримано залежність раціонального сполучення питомого тиску і натягу в двопараметричній області існування придатних посадок. Припускалося, що розподіл дійсних розмірів охопленої і охоплюючої деталей для з'єднання з гарантованим натягом підкоряється нормальному закону, тобто найбільш раціональну посадку забезпечить значення дійсного натягу, що близьке до центра групування або середнього значення  $N_c$ . Відповідно до цього дійсне значення питомого тиску  $P$  також має бути близьким до величини середнього тиску  $P_c$ , що знаходиться посередині між мінімальним розрахунковим  $p_{\min}$  та максимальним допустимим  $[p_{\max}]$  питомими тисками.

У роботах [1; 4] встановлено, що одним із методів підвищення міцності з'єднань з натягом є вибір раціональних геометричних параметрів шляхом застосування системного підходу до автоматизованого комп'ютерного розрахунку посадок з натягом різного функціонального призначення. Залежність натягу від питомого тиску у посадці  $N = f(p)$  за певного значення довжини посадки  $l$  дає уявлення лише про визначення найбільш раціональних типів застосованих посадок, параметри яких відповідають деякій ламаній лінії  $F$ , що належить двопараметричній області їх існування і близька до центра її симетрії, тобто із загальної сукупності запропонованих посадок в результаті розрахунку можна вибрати деякі посадки, близькі до центра симетрії прямокутника зі сторонами  $p$  і  $N = f(p)$ . Вказаний метод дає позитивні результати, порівняно з традиційними методами конструювання посадок з натягом, але не повною мірою враховує всі фактори, що впливають на їх характеристики.

Наприклад, у роботі [2] аналіз виданого комп'ютером переліку допустимих посадок не дозволяє чітко визначити раціональні сполучення фактичного питомого тиску  $p$  і натягу  $N = f(p)$  для даного значення  $l$ . При цьому у комп'ютерній програмі Posadka на основі аналізу системи обмежень параметрів посадки пропонується своє розрахункове значення  $l$ , яке не завжди може бути раціональним з точки зору забезпечення міцності посадки або габаритів з'єднання. Такий підхід не є

ефективним, особливо коли величиною  $l$  можна варіювати у деякому діапазоні  $l_{\min} \leq l \leq l_{\max}$ . При цьому величина  $l_{\min}$  забезпечуватиме нерухомість посадки, а величина  $l_{\max}$  обмежуватиметься тільки конструктивно, наприклад, довжиною маточини зубчастого колеса.

**Мета статті** полягає у оприлюдненні нового науково обґрунтованого методу автоматизованого розрахунку і проектування посадок з натягом.

**Виклад основного матеріалу.** Одним з додаткових критеріїв, яким можна варіювати на початковому етапі розв'язування цієї задачі, є потрібна посадкова довжина  $l$  спряжених поверхонь, що забезпечує мінімальні габарити з'єднання для заданих умов. Орієнтовне розрахункове значення довжини посадкової ділянки  $l$  визначається діаметром  $d$  з'єднання для охоплюючої деталі (для сталі  $l = 4 \cdot d^{0,7}$ , для чавуну  $l = 1,25d$ , для легких сплавів  $l = 1,5d$ , для великих згинаючих навантажень і точного центрування  $l = (1,5 \dots 2)d$ ).

Необхідність варіювати критерій викликана тим, що в деяких випадках потрібно зменшувати довжину (ширину) з'єднаних деталей в умовах обмежених габаритів чи зменшувати масу і габарити редуктора, коробки передач або інших елементів трансмісії. Так, при виготовленні зубчастих вінців блока шестерень та напівшевронів шевронних коліс ширину канавки  $k$  для виходу зуборізного інструмента можна значно зменшити, якщо застосовувати для виготовлення зубчастих коліс (блоків коліс) бандажне складання зубчастих вінців з основою колеса за допомогою з'єднань з натягом.

Для розв'язування даної задачі застосовувалася методика, вдосконалена та тестована за допомогою модернізованої програми Posadka, зокрема, для дослідження конкретного з'єднання з натягом – бандажа зубчастого вінця на основу маточини циліндричного колеса у випадку термічного складання. Момент  $T = 1500$  Н·м; діаметр посадки  $d = 85$  мм; діаметр внутрішньої поверхні охоплюваної деталі  $d_1 = 50$  мм; умовний зовнішній діаметр охоплюючої деталі  $d_2 = 130$  мм; матеріал охоплюваної деталі Сталь 45Х; матеріал охоплюючої деталі Сталь 50. Розрахунково-аналітичні дослідження проведені для сукупності значень довжини  $l = \{30, 40, 42, 56, 60, 71, 90, 125, 150, 210 \text{ і } 380\}$  мм, серед яких  $l = 90$  мм – розрахункове значення довжини, що рекомендується комп'ютерною програмою Posadka.

За результатами цього розрахунку на першому етапі отримано проекції графіка-номограми на три координатні площини раціонального сполучення питомого тиску  $p$  і натягу  $N$  з позначенням відповідних табличних імовірнісних натягів  $N$  та довжин з'єднання  $l$  (див. рис. 1). З аналізу графіків рис. 1 дійдемо висновку, що допустимий тиск  $[p_{\max}]$  у досліджуваному з'єднанні так само, як і величина максимального розрахункового натягу  $[N_{\max}]$ , є величиною сталою, за верхньою границею якої відбувається руйнування найбільш слабкої деталі. Зазначені графіки мають лінійний характер і практично не залежать від довжини з'єднання  $l$ .

Графік мінімального питомого тиску  $p_{\min}$ , за якого деформації деталей з'єднання знаходяться у межах пружності, є криволінійним і суттєво залежить від довжини  $l$ , яка може змінюватися. При цьому існує деяке критичне значення  $l_{кр}$ , за якого мінімальний питомий тиск  $p_{\min} = [p_{\max}]$ , а розрахунковий натяг  $[N_{\min}] = [N_{\max}]$ . Це означає, що величину  $l_{кр}$  слід вважати початковим граничним обмеженням, від якого починається область існування посадки з натягом для цієї посадкової довжини.

Проведеним дослідженням встановлено, що для заданих значень вихідних параметрів  $l_{кр} = 40,91$  мм. При зростанні довжини  $l \rightarrow l_{\max}$  ( $l_{\max} = l_k$ ), де  $l_k$  – максимальна посадкова довжина, що допускається конструкцією елементів посадки: довжиною маточини, шириною зубчастого вінця тощо, діапазони  $p_{\min} \dots [p_{\max}]$  та  $[N_{\min}] \dots [N_{\max}]$  також поступово збільшуються. Кількість придатних посадок у такому випадку може дорівнювати 11. Серед них необхідно вибрати найбільш

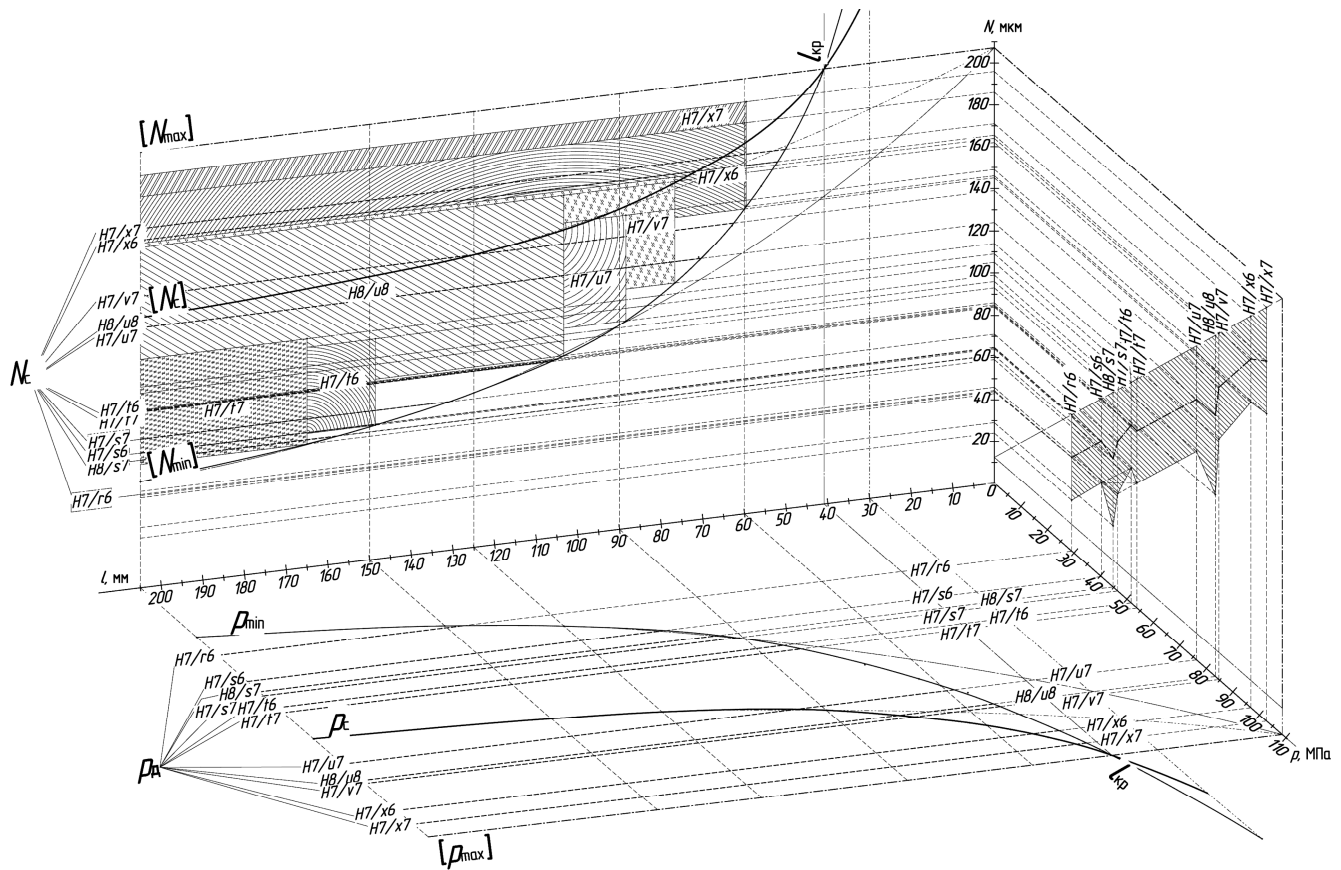


Рис. 1. Комплексні результати дослідження у вигляді проєкцій на три координатні площини

раціональну посадку, що і буде остаточним проектним рішенням. У діапазоні  $0 < l < l_{кр}$  існування посадки з натягом неможливе з тієї причини, що у ньому висока ймовірність руйнування найслабкішої деталі, оскільки мінімальний потрібний тиск і відповідний йому мінімальний натяг перевищують допустимі значення за умовами міцності, тобто,  $p_{\min} > [p_{\max}]$  та  $[N_{\min}] > [N_{\max}]$ .

При значеннях  $l < 60$  мм доцільних з практичної точки зору рішень немає, тобто жоден з допусків табличних стандартних посадок не входить до області раціональних сполучень питомого тиску і натягу для вибору придатної посадки з гарантованим натягом. У цьому випадку можна лише отримати декілька посадок методами неповної взаємозамінності.

Програма розрахунку рекомендує певну кількість посадок, які забезпечують гарантований натяг за таких конкретних значень посадкової довжини:

- $l = 60$  мм – одна посадка H7/x7;
- $l = 71$  мм – дві посадки H7/x6 і H7/x7;
- $l = 125$  мм – п'ять посадок H7/u7, H8/u8, H7/v7, H7/x6 і H7/x7;
- $l = 150$  мм – шість посадок H7/t6, H7/u7, H8/u8, H7/v7, H7/x6 і H7/x7;
- $l = 210$  мм – сім посадок H7/t6, H7/t7, H7/u7, H8/u8, H7/v7, H7/x6 і H7/x7;
- $l = 380$  мм – одинадцять посадок H7/r6, H7/s6, H7/s7, H8/s7, H7/t6, H7/t7, H7/u7, H8/u8, H7/v7, H7/x6 і H7/x7.

Більшість відомих у технічній літературі методик розрахунку посадок з натягом рекомендують вибирати значення посадок за максимального питомого тиску для більш слабкої деталі з'єднання. Водночас деякі методики рекомендують вибирати значення посадок для значень мінімального питомого тиску з урахуванням деформацій. Таке спірне питання завжди виникає у процесі прийняття рішення щодо призначення остаточних варіантів посадок.

Очевидним є той факт, що в ідеальному випадку дійсні значення розмірів охоплюваної і охоплюючої деталей, які утворюють натяг, забезпечуватимуть значення середнього натягу при їх

максимальному наближенні до деякої точки  $A$  (рис. 2) з координатами  $N_A = [N_c]$  у діапазоні розрахункових значень  $[N_{\min}] \dots [N_{\max}]$  і  $p_A = p_c$  у діапазоні  $p_{\min} \dots [p_{\max}]$ . Знайдені параметри  $N_A$  і  $p_A$  забезпечують деформації деталей у границях пружності за певного значення довжини посадки ( $l = 90$  мм – розрахункове значення довжини, отримане з автоматизованого розрахунку). Точка  $A$ , яка є центром прямокутника  $kmnq$ , також являє собою центр групування раціональних сполучень питомого тиску і натягу для вибору придатної посадки.

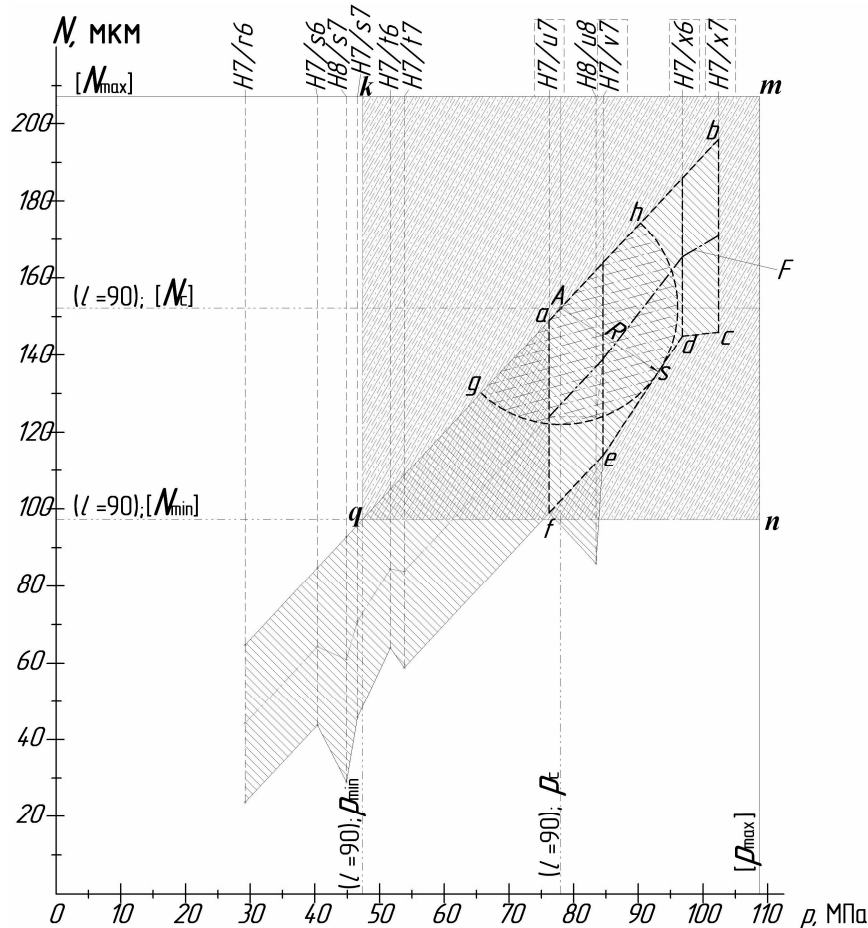


Рис. 2. Результати дослідження залежності натягу від питомого тиску  $N = f(p)$  для довжини посадки  $l = 90$  мм

За результатами розрахунку (для фіксованого значення довжини посадки  $l = 90$  мм) отримано ламану лінію  $F$  раціонального сполучення питомого тиску і середнього натягу в області  $abcdef$  існування придатних посадок з гарантованим натягом. Для даної задачі вибрано чотири посадки ( $H7/u7$ ,  $H7/v7$ ,  $H7/x6$  і  $H7/x7$ ), які забезпечать гарантований натяг за умови застосування методу “максимум-мінімум”. У випадку використання методів неповної взаємозамінності посадка  $H8/u8$  забезпечує натяг з великою ймовірністю, а посадки  $H7/t6$  і  $H7/t7$  – з малою, що ілюструють залежності, які знаходяться у координатній площині  $IN$  (див. рис. 1). Якщо в кожній з вказаних можливих семи посадок значення натягів будуть близькі до ймовірнісного максимального  $N_{\max}$ , то взагалі можна будь-яку з них прийняти як проектне рішення, при цьому остаточне рішення знову залежатиме від цілком суб’єктивного фактора – кваліфікації і досвіду проектувальника.

Можна стверджувати, що і посадку, параметри якої знаходяться в околах точки  $A$  ( $p_i \rightarrow p_A$ ,  $N_i \rightarrow N_A$ ) (рис. 2), з певним припущенням можна вважати оптимальною. Враховуючи це, доцільно навколо точки  $A$  виділити область раціональних натягів, у яку повинні входити їх дійсні

значення, що забезпечують отримання посадки з гарантованим натягом. Дана область являє собою півкруг  $gsh$ , що лежить у нижній половині прямокутника  $kmnq$ , тобто у трикутнику  $mnq$ , оскільки у верхній половині  $kmq$  за діагоналлю  $mq$  ніяких табличних посадок не існує.

Величину радіуса  $R$ , який окреслює півкруг  $gsh$ , можна визначити з таких міркувань:

1) у області  $abcdef$  пряма лінія  $ab$  обмежує максимальні значення ймовірнісних натягів табличних посадок  $N_{\max}$ , а ламана лінія  $cdef$  – мінімальні їх значення  $N_{\min}$ . Точка  $A$  повинна знаходитися на прямій  $ab$  або бути якомога ближче до неї. Точка  $s$ , що знаходиться на ділянці  $ed$ , повинна бути точкою дотику півкруга  $gsh$  та визначати мінімальну величину радіуса  $R = As$  області раціональних натягів, причому відрізок  $ed$  є перпендикуляром до цього радіуса;

2) якщо записати  $ed$  як рівняння прямої, що проходить через дві точки, отримаємо:

$$N - \frac{N_d - N_e}{P_d - P_e} p + \frac{N_d \cdot P_e - N_e \cdot P_d}{P_d - P_e} = 0; \quad (1)$$

3) якщо записати  $As$  як рівняння прямої, що проходить через дану точку у заданому напрямку, отримаємо:

$$N - \frac{P_d - P_e}{N_d - N_e} p + \left( \frac{P_d - P_e}{N_d - N_e} p_A - N_A \right) = 0; \quad (2)$$

4) оскільки точка  $s$  належить обом прямим  $As$  і  $ed$ , то її координати  $p_s$  і  $N_s$  можна знайти, розв'язуючи сумісно систему рівнянь (1) і (2);

5) величину радіуса  $R = As$  можна визначити за відомим рівнянням:

$$R = \sqrt{(p_s - p_A)^2 + (N_s - N_A)^2}, \quad (3)$$

де  $N_e$  і  $N_d$  – мінімальні ймовірнісні значення натягів для табличних посадок  $H7/u7$  і  $H7/x6$  відповідно;  $P_e$  і  $P_d$  – тиски, що відповідають натягам  $N_e$  і  $N_d$ ;  $p_A$  і  $N_A$  – координати точки  $A$ ;  $p_s$  і  $N_s$  – координати точки  $s$  дотику прямої  $ed$  і півкруга  $gsh$ .

До точки  $A$  у напівкруговій області, обмеженої дугою  $gsh$ , найбільш близькою буде лінія допуску посадки  $H7/u7$ . Більша частина допуску цієї посадки входить також до області, обмеженої дугою  $gsh$ , тоді як для  $H7/u7$  у зазначену область входить практично половина допуску: від середнього ймовірнісного  $N_c$  до максимального ймовірнісного  $N_{\max}$  (хоча значення допусків цих посадок однакові). Крім того, середній ймовірнісний натяг посадки  $H7/v7$  більш близький до точки  $A$ , оскільки відстань від неї до середнього значення цієї посадки, що лежить на ламаній лінії  $F$ , є найменшою.

До області  $gsh$  входить також половина допуску  $H8/u8$  (від середнього ймовірнісного  $N_c$  до максимального ймовірнісного  $N_{\max}$ ), значення якої за розміром майже таке, як і для  $H7/v7$ , та більше за половину допуску  $H7/u7$ . Отже, ймовірність потрапляння значень від середнього ймовірнісного  $N_c$  до максимального ймовірнісного  $N_{\max}$  більша у двох останніх видів посадок. Проте, як було відзначено раніше, посадка  $H8/u8$  не може забезпечити гарантованого натягу для заданої фіксованої довжини  $l = 90$  мм.

### Висновки

Проведені у даній статті дослідження показали, що введення як варійованого параметра посадкової довжини з'єднання з натягом дозволяє обґрунтовано обмежити область пошуку остаточних проектних рішень і значно зменшити вплив суб'єктивного фактора на прийняття вказаних рішень. Крім того, збільшення кількості параметрів посадок, за значеннями яких здійснюється остаточний вибір проектного рішення із кінцевої множини допустимих, дозволяє значною мірою формалізувати цей процес, що значно підвищує ефективність запропонованого методу при реальному проектуванні посадок з натягом у сучасному машинобудуванні.

**Перспектива подальших досліджень.** На думку авторів, найближчою перспективою є створення тривимірної моделі області існування посадок з натягом і її використання для раціонального вибору ефективних з'єднань з натягом для конструкцій сучасних машин.

#### **Список використаних джерел**

1. Кравцов, М. К. Промежуточные среды в соединениях с натягом [Текст] / М. К. Кравцов, А. А. Святуха, В. В. Чернов. – Х. : Штрих, 2001. – 200 с.
2. Нечипоренко, В. М. Вибір і автоматизований розрахунок раціональних посадок з натягом на основі додаткових критеріїв [Текст] / В. М. Нечипоренко, П. І. Літовченко, Л. П. Іванова // Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України. – Х. : Акад. внутрішніх військ МВС України, 2012. – Вип. 2(20). – С. 83–88.
3. Літовченко, П. І. Про підвищення ефективності і рівня формалізації автоматизованого розрахунку пресових посадок [Текст] / П. І. Літовченко, В. М. Нечипоренко // Збірник наукових праць Академії ВВ МВС України. – Х. : Акад. внутрішніх військ МВС України, 2011. – Вип. 2(18). – С. 81–87.
4. Кулиш, Е. В. Разработка методики расчета пресовых полисоединений [Электронный ресурс] / Е. В. Кулиш, Ю. В. Турыгин. – Режим доступа : [www/URL:http://www.istu.ru/files/materials/3509](http://www.url:http://www.istu.ru/files/materials/3509) (дата обращения 20.10.2010). – Загл. с экрана.

*Стаття надійшла до редакції 09.01.2013 р*

**А н н о т а ц і и**

**УДК 629.4.027**

**В. П. Писарев**

**Моделирование процесса подрыва боевой колесной машины в случае наезда на мину**

*Предложена математическая модель подрыва боевой колесной машины в случае наезда на мину, проведены численными методами расчеты ее соответствия представлениям о реакции объекта исследований на импульсное действие ударной волны.*

*С. 5–8*

**УДК 625.032**

**С. А. Соколовский, В. Б. Коханенко,  
А. М. Яковлев**

**Обзор методов моделирования сглаживающей способности шин**

*Обобщены результаты анализа публикаций теоретических и экспериментальных исследований сглаживающей способности пневматических шин. Определено, что в оценивании сглаживающей способности шины исследователи больше всего используют модель постоянного сглаживания, которая строится на процедуре осреднения удельных упругодемпфирующих характеристик шины либо исходного микропрофиля дороги на постоянном интервале.*

*С. 9–15*

**УДК 623.44**

**А. И. Биленко**

**Формирование требований к разбросу дульных скоростей метательных элементов кинетического оружия**

*Показаны особенности формирования требований к дульной скорости метательного элемента кинетического оружия несмертельного действия и боевого оружия с ограниченной дальностью убийного действия. Разработан метод формирования требований к разбросу дульных скоростей метательных элементов такого оружия, который учитывает минимально и максимально допустимые значения скорости встречи метательного элемента с целью и динамику спада его скорости.*

*С. 16–20*

**A n n o t a t i o n**

**UDC 629.4.027**

**V. P. Picarev**

**Process explosion of the combat wheel machine on mine modeling**

*Mathematical model of the explosion combat wheel machine on mine is offered, calculations of its correspondence to concepts about object of studies reaction on shock wave pulsed action are made.*

*P. 5–8*

**UDC 625.032**

**S. A. Sokolovskyj, V. B. Kokhanenko,  
O. M. Yakovlev**

**Overview of the simulation smooths out of the tires**

*The paper summarizes the results of the analysis of the literature on the theoretical and experimental studies of the smoothing ability of pneumatic tires. Determined that in the case of estimating the smoothing of the bus most of the researchers use a model smoothing constant, which is based on the procedure of averaging or uprugodemfiruyuschih specific characteristics of the tire, or the original microprofile road at a constant interval.*

*P. 9–15*

**UDC 623.44**

**O. I. Bilenko**

**Forming requirements to the scatter of muzzle velocities of throwing elements of the kinetic weapon**

*The article reflects features of forming requirements to the muzzle velocity of throwing elements of kinetic non-lethal and deadly weapons with limited hit probability range. Developed a method of forming requirements to the muzzle velocity of such weapon, which considers marginally and maximally legitimate values of the throwing element velocity meeting the with the target and the dynamic of its velocity drop.*

*P. 16–20*



*А н н о т а ц и и*

УДК 623.51

А. М. Крюков, В. Г. Мудрик

**Перспективы экспериментального определения баллистических элементов выстрела**

*Проведён анализ требований к точности определения баллистических элементов выстрела. Обоснована целесообразность определения давления пороховых газов в канале ствола путём измерения мгновенных значений скорости движения метательного элемента, рассмотрены два метода решения такой задачи. Предложено в основу средства измерения скорости движения метательного элемента положить оптический дифференциальный доплеровский метод. Обоснованы основные научные задачи, решение которых должно предшествовать созданию такого средства измерения.*

*С. 21–24*

УДК 378.147:621.391

В. Е. Козлов, Е. А. Новикова

**Описание шкал педагогической квалиметрии методами нечеткой математики**

*Рассмотрено формализованное описание шкал педагогической квалиметрии методами нечеткой математики, которое может быть использовано в реализации информационных технологий экспертного оценивания.*

*С. 25–28*

УДК 355.40

О. Б. Анипко, Ю. М. Бусяк, И. Ю. Бирюков

**Модель функционирования комплекса бронетанкового вооружения на основе дискретных цепей Маркова**

*В статье рассмотрена модель функционирования комплекса бронетанкового вооружения на основе дискретных цепей Маркова.*

*С. 29–35*

*A n n o t a t i o n*

UDC 623.51

O .M. Kriukov, V. H. Mudrik

**Prospects of experimental determination of ballistic firing elements**

*The analysis of accuracy requirements for ballistic firing elements is given. The necessity of determination of the pressure of powder gases in the bore by measuring of the instantaneous velocity of the throwing element is justified, two methods for solving of this problem are considered. The optical differential Doppler method as a basis for measuring of the velocity of the throwing element is suggested to apply. The main scientific tasks for creation of a measuring device are justified.*

*P. 21–24*

UDC 378.147:621.391

V. E. Kozlov, O. O. Novikova

**Description of the pedagogical scales qualimetry the methods of fuzzy mathematics**

*Considered a formal description of scales pedagogical qualifications heating methods of fuzzy mathematics, which can be used in the implementation of information technology expert evaluation.*

*P. 25–28*

UDC 355.40

O. B. Anipko, Yu. M. Bysak, I. Yu. Birukov

**Model of complex armored based discrete markov chains**

*In this paper, a model of the complex functioning of armored based on discrete Markov chains.*

*P. 29–35*

**А н н о т а ц і ї**

УДК 389: 001.18

**А. А. Морозов**

**Многокритериальная оптимизация сложных организационно-технических систем при условиях неопределенности информации**

*Рассматривается задача многокритериальной оптимизации сложных организационно-технических систем при условии нечеткой исходной информации и предлагается обобщенный алгоритм решения задач такого класса.*

*С. 36–40*

УДК 621.396.677

**Г. В. Ермаков, И. Н. Майборода, К. В. Власов, А. В. Ирха**

**Нейтрализация электронных замыкающих устройств путем применения мощных сверхширокополосных сигналов**

*Рассмотрены возможности применения сверхширокополосных сигналов для нейтрализации электронных замыкающих устройств при внеполосном воздействии. Приведены численные значения временных и энергетических характеристик последовательностей излученных сигналов, обеспечивающих деградацию полупроводниковых элементов при внеполосном воздействии.*

*С. 41–42*

УДК 621.396.677

**Г. В. Ермаков, И. Н. Майборода, О. В. Стаховский, А. В. Ченькаев**

**Пространственно-временные и энергетические характеристики цилиндрических фазированных антенных решеток для функционального поражения наземных систем связи**

*Проанализированы пространственно-временные и энергетические характеристики цилиндрических фазированных антенных решеток, предназначенных для функционального поражения наземных станций радиосвязи. Полученные зависимости для расчета напряженности электрического поля сформированного многочастотного пространственно-временного сигнала позволяют предложить алгоритм фазирования цилиндрических фазированных антенных решеток.*

*С. 43–45*

**A n n o t a t i o n**

UDC 389: 001.18

**O. O. Morozov**

**Multicriterial optimization of complex organizing-technical systems at condition uncertainty information**

*The problem multicriterial optimization of complex organizing-technical systems at condition ill-defined source information is considered, and generalised algorithm decision of such class problems is offered.*

*P. 36–40*

UDC 621.396.677

**H. V. Yermakov, I. M. Maiboroda, K. V. Vlasov, A. V. Irkha**

**Neutralization of electronic locking devices by application of powerful ultrawideband signals**

*Possibilities of ultrawideband signals application for neutralization of electronic locking devices at out-of-band influence are considered. The numeral values of temporal and power descriptions of the radiated signals sequences, that providing degradation of semiconductor elements at out-of-band influence are resulted.*

*P. 41–42*

UDC 621.396.677

**H. V. Yermakov, I. M. Maiboroda, O. V. Stakhovskiy, O. V. Chenykayev**

**Spatio-temporal and power characteristics of cylindrical phased array for functional defeat of connection systems**

*Spatio-temporal and power characteristics of cylindrical phased array intended for the functional defeat of the connection systems are analysed. The got dependences for the calculation of electric-field intensity of the formed multifrequency spatio-temporal signal allow to offer the algorithm of phasing cylindrical array.*

*P. 43–45*

*А н н о т а ц и и*

УДК 35.071.1

**В. В. Обрядин, В. В. Еманов, П. В. Бойко,  
Р. В. Сегингер**

**Использование ГИС-технологий в системе поддержки принятия решения на бой командиром стрелковой роты**

*Рассмотрены вопросы использования ГИС-технологий в системе поддержки принятия решения на бой командиром стрелковой роты. Даны рекомендации относительно использования программного пакета Arc View Gis версии 3.3 для облегчения наиболее сложных этапов работы командира в процессе организации боя.*

*С. 46–56*

УДК 629.017

**М. А. Подригало, Д. М. Клец**

**Модель нелинейного увода эластичного колеса автомобиля**

*Предложена простая нелинейная модель увода шины колеса автомобиля с использованием известных экспериментальных зависимостей боковой силы от угла увода.*

*С. 57–62*

УДК 621.391

**Ю. П. Белокурский, А. М. Горбов, А. Ю. Иохов,  
В. Е. Козлов, И. В. Кузьминич, А. А. Щербина**

**Защита информации в каналах управления подразделениями внутренних войск МВД Украины**

*Рассмотрена возможность использования антенн диапазонов VHF/UHF с импровизированным рефлектором для защиты информации, которая циркулирует в контуре управления тактического звена внутренних войск МВД Украины, и подавления каналов радиосвязи нарушителя при выполнении служебных заданий.*

*С. 63–65*

*A n n o t a t i o n*

UDC 35.071.1

**V. V. Obriadin, V. V. Yemanov, P. V. Boyko,  
R. V. Schinher**

**Use GIS-technology in system of support decision making on fighting by commander shooting mouths**

*The Considered questions of the use GIS-technology in system of support decision making on fighting by commander shooting mouths. The Designed recommendation for use the programme package Arc View Gis versions 3.3 for relief the most complex stage functioning(working) the commander at fighting organization.*

*P. 46–56*

UDC 629.017

**M. A. Podrihalo, D. M. Klets**

**Model of nonlinear car elastic wheel slipping**

*A simple nonlinear model of the tire slip with known experimental dependences of the lateral force on the slip angle is offered.*

*P. 57–62*

UDC 621.391

**Yu. P. Belokurskyi, O. M. Horbov, O. Yu. Iokhov,  
V. Ye. Kozlov, I. V. Kuzminich, O. O. Shcherbina**

**Information protection in manage ducts Interior Troops MIA of Ukraine**

*Possibility of the use of aeriels of ranges of VHF/UHF is considered with an impromptu reflector for defence of own information of management and suppression of ductings of radio contact and management of opposing side at implementation of Interior Troops of MIA of Ukraine.*

*P. 63–65*

**А н н о т а ц и и**

**УДК 656.13**

**Р. И. Топчий**

**Формирование подходов к системе оценивания условий эксплуатации бронетехники путём внедрения энергетических характеристик транспортного потока**

*Рассмотрен вопрос интеграции теории энергетического подхода в систему оценивания условий эксплуатации бронетехники во время выполнения служебно-боевых заданий и определение показателя "шум ускорения" БТР-60ПБ в боевых условиях эксплуатации.*

*С. 66–70*

**УДК 662.311.2**

**В. В. Афанасьев, В. И. Мокреев**

**Анализ ошибок в технике стрельбы из пистолета**

*Рассмотрены факторы, которые влияют на меткость стрельбы из стрелкового оружия. Проведен анализ ошибок в технике стрельбы из пистолета. Определены главные ошибки, которые целесообразно учитывать во время стрельбы из пистолета.*

*С. 71–73*

**УДК 621.8**

**П. И. Литовченко, В. Н. Нечипоренко,  
В. А. Сало, Л. П. Иванова**

**Новый научно обоснованный метод автоматизированного проектирования посадок с натягом**

*Предлагается метод выбора окончательного проектного решения при расчете посадок с натягом на основе выбора рационального сочетания значений трех варьируемых параметров с использованием специальной компьютерной программы.*

*С. 74–79*

**A n n o t a t i o n**

**UDC 656.13**

**R. I. Topchiy**

**Shaping of approaches in the evaluation of operation afv through the introduction of energy characteristics for the traffic flow**

*The question of integration of theory the energy approach in the rating system conditions armored vehicles during the direct performance of service and combat missions, and the measurement of "noise acceleration" BTR-60PB in combat conditions.*

*P. 66–70*

**UDC 662.311.2**

**V. V. Afanasyev, V. I. Mokreyev**

**The error analysis in the shooting technique from a pistol**

*Factors while have an influence on accuracy of shooting from small arms have been considered. The error analysis has been carried out in the shooting technique from a pistol. More influential errors, which are reasonable for taking into account during shooting from a pistol have been mention.*

*P. 71–73*

**UDC 621.8**

**P. I. Litovchenko, V. M. Nechiporenko,  
V. A. Salo, L. P. Ivanova**

**The new science-based method of automated design of interference fit**

*Propose a method of selecting the final design solution in calculating of interference fit on the basis of the choice of rational combination of values of the three variable parameters, using a special computer program.*

*P. 74–79*

**Аніпко Олег Борисович** – доктор технічних наук, професор, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба (с. 29–35)

**Афанасьєв Володимир Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри озброєння та стрільби Академії внутрішніх військ МВС України (с. 71–73)

**Белокурський Юрій Павлович** – старший викладач Харківського національного університету радіоелектроніки (с. 63–65)

**Біленко Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, начальник докторантури та ад'юнктури Академії внутрішніх військ МВС України (с. 16–20)

**Бірюков Ігор Юрійович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри тактики внутрішніх військ Академії внутрішніх військ МВС України (с. 29–35)

**Бойко Петро Васильович** – курсант Академії внутрішніх військ МВС України (с. 46–56)

**Бусяк Юрій Митрофанович** – доктор технічних наук, професор, головний конструктор КП ХКБМ ім. О. О. Морозова (с. 29–35)

**Власов Костянтин Валерійович** – старший викладач кафедри управління діями підрозділів із засобами військового зв'язку – начальник зв'язку Академії внутрішніх військ МВС України (с. 41–42)

**Горбов Олексій Михайлович** – ад'юнкт Академії внутрішніх військ МВС України (с. 63–65)

**Єманов Владислав Вікторович** – кандидат військових наук, доцент кафедри тактики внутрішніх військ Академії внутрішніх військ МВС України (с. 46–56)

**Єрмаков Геннадій Валентинович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри управління діями підрозділів із засобами військового зв'язку Академії внутрішніх військ МВС України (с. 41–42, 43–45)

**Іванова Лариса Петрівна** – завідувач лабораторії кафедри інженерної механіки Академії внутрішніх військ МВС України (с. 74–79)

**Іохов Олександр Юрійович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник кафедри інформатики та прикладних інформаційних технологій Академії внутрішніх військ МВС України (с. 63–65)

**Ірха Артем Валерійович** – офіцер відділення центру імітаційного моделювання Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (с. 41–42)

**Клец Дмитро Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (с. 57–62)

**Козлов Валентин Євгенович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та прикладних інформаційних технологій Академії внутрішніх військ МВС України (с. 25–28, 63–65)

**Коханенко Володимир Богданович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної і аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України (с. 9–15)

**Крюков Олександр Михайлович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри озброєння та стрільби Академії внутрішніх військ МВС України (с. 21–24)

**Кузьминич Ілля Володимирович** – ад'юнкт Академії внутрішніх військ МВС України (с. 63–65)

**Літовченко Петро Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Академії внутрішніх військ МВС України (с. 74–79)

**Майборода Ігор Миколайович** – кандидат військових наук, доцент, завідувач кафедри управління діями підрозділів із засобами військового зв'язку Академії внутрішніх військ МВС України (с. 41–42, 43–45)

**Мокресь Валерій Іванович** – старший викладач кафедри озброєння та стрільби Академії внутрішніх військ МВС України (с. 71–73)

**Морозов Олександр Олександрович** – доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник науково-дослідного центру Академії внутрішніх військ МВС України (с. 36–40)

**Мудрик Вадим Геннадійович** – ад'юнкт Академії внутрішніх військ МВС України (с. 21–24)

**Нечипоренко Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інженерної механіки Академії внутрішніх військ МВС України (с. 74–79)

**Новикова Олена Олександрівна** – старший викладач кафедри інформатики та прикладних інформаційних технологій Академії внутрішніх військ МВС України (с. 25–28)

**Обрядін Володимир Владиславович** – кандидат військових наук, доцент, професор кафедри тактики внутрішніх військ Академії внутрішніх військ МВС України (с. 46–56)

**Пісарєв Валерій Петрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільної техніки Академії внутрішніх військ МВС України (с. 5–8)

**Подригало Михайло Абович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування і ремонту машин Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (с. 57–62)

**Сало Валентин Андрійович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри інженерної механіки Академії внутрішніх військ МВС України (с. 74–79)

**Сегінгер Руслан Володимирович** – курсант Академії внутрішніх військ МВС України (с. 46–56)

**Соколовський Сергій Анатолійович** – заступник начальника Академії внутрішніх військ МВС України з озброєння та техніки – начальник технічної частини (с. 9–15)

**Стаховський Олег Валерійович** – доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри військової підготовки офіцерів запасу Гвардійського ордена Червоної Зірки факультету військової підготовки імені Верховної Ради України Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” (с. 43–45)

**Топчій Роман Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту автомобілів та бойових машин Академії внутрішніх військ МВС України (с. 66–70)

**Ченикаєв Олександр Вікторович** – начальник штабу – перший заступник начальника Харківського зонального відділу Служби військового правопорядку (с. 43–45)

**Щербина Олександр Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри Харківського національного університету радіоелектроніки (с. 63–65)

**Яковлев Олександр Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інженерної і аварійно-рятувальної техніки Національного університету цивільного захисту України (с. 9–15)

Наукове видання

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
АКАДЕМІЇ ВНУТРІШНІХ ВІЙСЬК  
МВС УКРАЇНИ

Випуск 1 (21) / 2013

Відповідальний за випуск: *Д. В. Павлов*

Редактор *Ф. М. Сирнєв*

Коректор *Г. М. Підлозна*

Комп'ютерна верстка: *А. О. Теплова, С. А. Малишкін*

---

Формат 60×90<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Ум. друк. арк. 10,23  
Тираж 100 пр. Зам. № 26.

---

Видавець і виготовлювач Академія ВВ МВС України.  
Пл. Повстання, 3, м. Харків-1, 61001.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2799 від 22.03.2007 р.