

УДК 623.4.01

В.А. Голуб

Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки ЗС України, Київ

КЛАСИФІКУВАННЯ БОЙОВИХ КОЛІСНИХ МАШИН МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

Проведене класифікування бойових колісних машин методами кластерного аналізу, яке показало наявність структури у вибірці, яка виявляється як ієрархічними агломеративними методами, так й ітеративними. Наявність структури свідчить про те, що зразки створюються для виконання стійкого спектру завдань, що поставлені перед збройними силами.

Ключові слова: бойова колісна машина, технічні характеристики, класифікація, кластер.

Вступ

Постановка проблеми. Підвищений інтерес провідних країн світу до розробки та прийняття на озброєння бойових колісних машин (БКМ) обумовлений можливістю їх ефективного використання для вогневої підтримки дій тактичних мобільних груп, що знаходяться у відриві від основних сил, а також для виконання спеціальних, розвідувальних, пошуково-рятувальних завдань, бойового патрулювання в умовах активного використання протитанкових засобів ближнього бою та високого ступеня мінної небезпеки. Крім того, така техніка може використовуватися в ході проведення миротворчих операцій для бойової охорони військ, супроводження колон і патрулювання конфліктних зон [1]. Однак, як виявилось, БКМ мають недостатній рівень захисту, що приводить до значних втрат особового складу [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальноприйнятим виходом із цієї ситуації вважається підвищення рівня захищеності шляхом встановлення додаткових елементів захисту та створення зразків з високим рівнем захисту за рахунок збільшення маси броні. Як наслідок, це привело до збільшення спорядженої маси, створення зразків масою до 26 т (RG-33L) і значного зростання їх вартості та експлуатаційних витрат [3].

Фактично відбувається перетворення БКМ у рухоме укриття для особового складу, що має забезпечити захист від будь-яких загроз. Розвиток у даному напрямку підтримується, з одного боку, військовим керівництвом, яке намагається отримати максимальний захист для військовослужбовців, а з іншого – промисловістю, яка виробляє якомога дорожчі зразки, до того ж їх вартість значною мірою залежить від маси та використання спеціально створених вузлів та агрегатів.

Через велику номенклатуру існуючих і перспективних зразків БКМ постає необхідність проведення їх узагальнення за функціональним призначенням для подальшого забезпечення максимальної відповідності між характеристиками зразків та їх

функціональним призначенням.

Таке узагальнення забезпечує визначення досягнутого рівня розвитку БКМ, виявляє структуру у загальній сукупності зразків та визначає місце зразків у системі озброєння.

Традиційно класифікація здійснюється за окремими ознаками, наприклад, призначенням, розміщенням двигуна та кабіни, типом кузова, кількістю осей, розташуванням двигуна, кількістю ведучих і керованих осей, що дає можливість проводити аналіз за конструктивними ознаками [4]. Найбільш поширеною є класифікація за повною масою зразка [5].

Мета статті. Для визначення напрямів модернізації і подальшого розвитку зразків необхідно встановити зв'язок між технічними характеристиками БКМ та їх функціональним призначенням.

Основний матеріал

На сьогодні функціональне призначення зразків визначається як виробником, так і споживачами. Це обумовлюється невизначеністю вимог, необхідних для виконання покладених на збройні сили завдань, та можливістю виконувати конкретним зразком різні завдання, що призводить до виникнення невідповідності між технічними характеристиками зразка та його призначенням.

Класифікування БКМ пропонується здійснити методами кластерного аналізу, що забезпечує об'єднання зразків у групи з максимальною подібністю між собою та суттєвими відмінностями між групами.

Для проведення аналізу використаємо технічні характеристики 25 зразків БКМ, що наведені у табл. 1.

На першому етапі проведемо аналіз даних методом послідовної кластеризації [6, 7]. У результаті такого аналізу, в залежності від обраного алгоритму обробки матриці даних, отримаємо дендрограму, що однозначно описує матрицю відстаней між елементами. Якщо $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ – множина n об'єктів, кожен з яких характеризується m ознаками, то кожен з об'єктів може розглядатися як точка в m -мірному просторі. Тоді вхідні дані можуть бути

представлені матрицею

$$X = \begin{pmatrix} x_1^1 & x_1^2 & \dots & x_1^m \\ x_2^1 & x_2^2 & \dots & x_2^m \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_n^1 & x_n^2 & \dots & x_n^m \end{pmatrix},$$

де x_j^i – значення i -ої ознаки j -ого об'єкту.

Таким чином, i -й рядок цієї матриці повністю характеризує об'єкт x_i та інтерпретується як точка в m -мірному просторі $\Gamma^m(X)$.

Близькості між об'єктами множини X можуть

бути представлені у формі матриці

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & d_{22} & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & d_{nn} \end{pmatrix},$$

де d_{ij} – близькість об'єктів x_i та x_j один від одного.

Як характеристики близькості використаємо евклідову метрику:

$$d_{ij} = \left(\sum_{l=1}^m (x_i^l - x_j^l)^2 \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Таблиця 1

Технічні характеристики БКМ

| Зразок | Бойова маса, кг | Колісна формула | Корисне навантаження, кг | Потужність двигуна, к.с. | Довжина, м | Ширина, м | Висота, м | Кліренс, м |
|------------------|-----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|------------|-----------|-----------|------------|
| Акреп | 3600 | 4×4 | 800 | 134 | 4,19 | 1,91 | 2,56 | 0,229 |
| Land Rover D130 | 2400 | 4×4 | 705 | 122 | 3,722 | 1,79 | 1,96 | 0,229 |
| Auverland A4 AVL | 5100 | 4×4 | 1130 | 150 | 4,233 | 1,96 | 2,03 | 0,23 |
| Cobra | 6500 | 4×4 | 1250 | 190 | 5,5 | 2,22 | 2,1 | 0,4 |
| Eagle I | 4500 | 4×4 | 2200 | 160 | 4,9 | 2,28 | 1,75 | 0,4 |
| Eagle IV | 8800 | 4×4 | 2100 | 250 | 5,4 | 2,3 | 2,3 | 0,4 |
| AGF | 3300 | 4×4 | 1000 | 156 | 4,88 | 1,82 | 1,87 | 0,4 |
| Dingo 2 | 12500 | 4×4 | 2600 | 218 | 6,1 | 2,3 | 2,5 | 0,48 |
| Cougar | 17200 | 4×4 | 2720 | 330 | 5,91 | 2,74 | 2,64 | 0,41 |
| Cougar HE | 23590 | 6×6 | 5900 | 330 | 7,08 | 2,74 | 2,64 | 0,41 |
| LMV | 7100 | 4×4 | 2900 | 190 | 4,8 | 2,2 | 2,05 | 0,473 |
| Тигр | 7200 | 4×4 | 3100 | 205 | 5,7 | 2,3 | 2,4 | 0,4 |
| Stryker | 17200 | 8×8 | 4700 | 350 | 6,95 | 2,72 | 2,64 | 0,5 |
| M-ATV | 14700 | 4×4 | 1800 | 370 | 6,27 | 2,49 | 2,7 | 0,4 |
| HMMWV M1097A2 | 4672 | 4×4 | 1996 | 160 | 4,84 | 2,18 | 1,88 | 0,4 |
| HMMWV M1114 | 5489 | 4×4 | 1043 | 190 | 5 | 2,3 | 1,9 | 0,4 |
| HMMWV M1151A1 | 6101 | 4×4 | 1370 | 190 | 4,9 | 2,18 | 1,82 | 0,43 |
| RG-32M | 6700 | 4×4 | 1600 | 184 | 5,05 | 2,2 | 2,31 | 0,41 |
| RG-31 | 7280 | 4×4 | 2000 | 275 | 6,4 | 2,47 | 2,63 | 0,4 |
| RG-33L | 26332 | 6×6 | 8762 | 400 | 8,5 | 2,4 | 2,9 | 0,36 |
| RG-33 | 17252 | 4×4 | 3768 | 400 | 6,7 | 2,4 | 2,9 | 0,36 |
| СПМ-3 | 12000 | 4×4 | 2000 | 330 | 5,9 | 2,5 | 2,6 | 0,5 |
| AMV | 16000 | 8×8 | 8000 | 543 | 7,7 | 2,8 | 2,3 | 0,4 |
| ALSV | 1600 | 4×4 | 640 | 160 | 4,1 | 2,11 | 2,01 | 0,4 |
| DPV | 1600 | 4×4 | 681 | 200 | 4,09 | 2,11 | 2,01 | 0,4 |

Для побудови дендрограми використаємо програмний продукт Statistica [8]. Перед початком аналізу проведемо стандартизацію змінних згідно з виразом

$$x_i^{\text{н}} = \frac{x_i - \sum x_i}{\sum x_i^2},$$

$$\frac{n}{n-1}$$

що дає можливість усунути зміщення, викликане впливом тих ознак, які мають більший розмах значень [9].

Як правило об'єднання використаємо метод повних зв'язків, відповідно до якого схожість між кандидатами на включення в існуючий кластер і будь-яким із його елементів має бути меншою деякого порогового рівня.

Результати аналізу наведені на рис. 1.

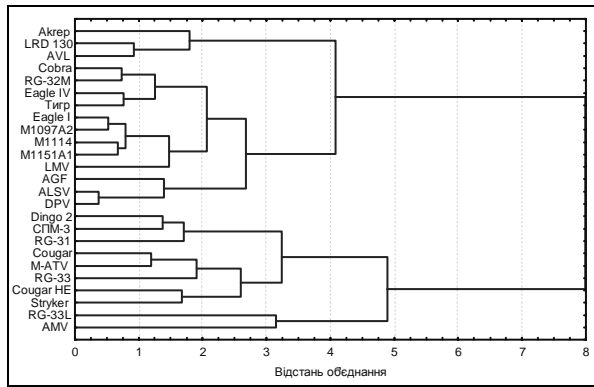


Рис. 1. Дендрограма для даних, що наведені у табл. 1

Аналіз діаграми (рис. 1) показує, що отриманий розподіл на групи є некоректним, групи не відповідають призначенню зразків. Так, не виділяється група "ALSV, DPV" з високою потужністю двигуна та мінімальною масою зразків; групи "Land Rover D130, Auverland A4 AVL", "RG-33L, AMV", "Cougar HE, Stryker" поєднують зразки зі значними відмінностями у характеристиках та призначенні.

Тому для класифікування пропонується підхід, що полягає у використанні для аналізу узагальнених показників, які характеризують бойові властивості зразків. Такими показниками є:

навантаження на вісь, що сумісно з властивостями шини характеризує тягово-зчепні властивості, які є найважливішими складовими прохідності зразка [10];

питома потужність, що визначає тягово-динамічні та швидкісні властивості й найбільш повно характеризує рухомість зразка [10];

маса зразка на кубічний метр його об'єму, що характеризує захищеність особового складу [11, 12].

Звичайно, для проведення точного аналізу необхідно застосовувати більш деталізовані характеристики. Розподіл маси по осях, геометричні розміри коліс, тиск повітря в колесі, питомий тиск на ґрунт, сила тяги – для прохідності, стійкість і керуваність, плавність руху, швидкісні, розгінні та гальмівні характеристики - для рухомості та маса захисту на кубічний метр внутрішнього об'єму - для захищеності. Однак у повному обсязі ці характеристики практично для усіх зразків у технічних описах не наводяться і можуть бути визначені тільки шляхом дослідження конкретного зразка. Тому для проведення аналізу використовуються більш узагальнені характеристики, наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Питоми характеристики БКМ

| Зразок | Навантаження на вісь, т (А) | Питома потужність, к.с./т (В) | Маса на кубічний метр об'єму, кг/м ³ (С) |
|--------|-----------------------------|-------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Акrep | 1,80 | 37,22 | 192,98 |

Закінчення табл. 2

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|------------------|------|--------|--------|
| Land Rover D130 | 1,20 | 50,83 | 208,11 |
| Auverland A4 AVL | 2,55 | 29,41 | 341,50 |
| Cobra | 3,25 | 29,23 | 313,15 |
| Eagle I | 2,25 | 35,56 | 298,36 |
| Eagle IV | 4,40 | 28,41 | 372,91 |
| AGF | 1,65 | 47,27 | 252,76 |
| Dingo 2 | 6,25 | 17,44 | 441,06 |
| Cougar | 8,60 | 19,19 | 476,31 |
| Cougar HE | 7,86 | 13,99 | 545,30 |
| LMV | 3,55 | 26,76 | 426,35 |
| Tigr | 3,60 | 28,47 | 274,60 |
| Stryker | 4,30 | 20,35 | 425,17 |
| M-ATV | 7,35 | 25,17 | 409,38 |
| HMMWV M1097A2 | 2,34 | 34,25 | 299,18 |
| HMMWV M1114 | 2,74 | 34,61 | 318,20 |
| HMMWV M1151A1 | 3,05 | 31,14 | 410,90 |
| RG-32M | 3,35 | 27,46 | 317,40 |
| RG-31 | 3,64 | 37,77 | 206,51 |
| RG-33L | 8,78 | 15,19 | 508,18 |
| RG-33 | 8,63 | 23,19 | 422,40 |
| CFM-3 | 6,00 | 27,50 | 387,41 |
| AMV | 4,00 | 33,94 | 390,59 |
| ALSV | 0,80 | 100,00 | 114,88 |
| DPV | 0,80 | 125,00 | 115,16 |

Результати аналізу за узагальненими показниками наведені на рис. 2.

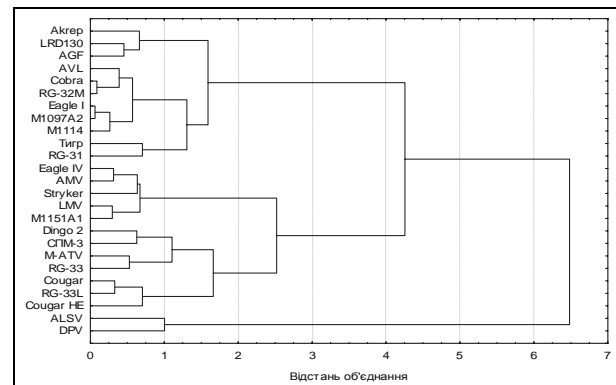


Рис. 2. Дендрограма для даних, що наведені у табл. 2. Метод повних зв'язків

Проведення кластеризації за допомогою ієрархічних агломеративних методів з використанням інших правил побудови кластерів, а саме: методу одиночних зв'язків (рис. 3); вагового центроїдного

методу (рис. 4) та методу Уорда (рис. 5) – дає можливість стверджувати, що у цьому наборі даних присутня чітка структура. На рівні шести кластерів наявний чіткий розподіл, причому відмінності полягають у класифікуванні одного зразка (RG-31) та у порядку подальшого сполучення кластерів.

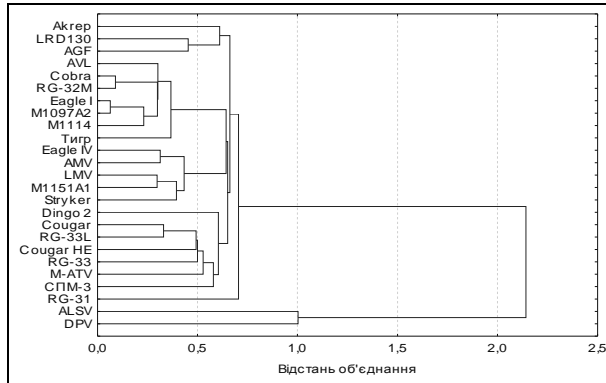


Рис. 3. Дендрограма для даних, що наведені у табл. 2. Метод одиночних зв'язків

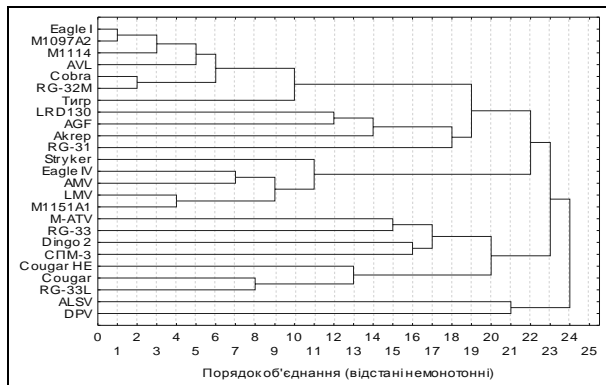


Рис. 4. Дендрограма для даних, що наведені у табл. 2. Ваговий центроїдний метод

Основним підходом до визначення раціонального числа кластерів є евристичні процедури та формальні тести. Евристичні процедури є найбільш використовуваними методами, що полягають в обмеженні рівня дендрограми після суб'єктивного перегляду різних рівнів. Для дендрограми (рис. 2) суб'єктивне обмеження приводить до виділення чотирьох кластерів одного рівня або, можливо, шести кластерів за умови розгляду різних рівнів дендрограми.

Визначення оптимальної кількості кластерів у даному випадку є недоцільним, що, з одного боку, зумовлюється обмеженістю та суб'єктивністю наявної вибірки, а з іншого - фінансовими можливостями конкретної країни. Тому, на другому етапі проаналізуємо дані за допомогою ітеративного методу кластеризації k-середніх, який розподіляє зразки між початково визначеними кластерами, а потім переміщає їх між кластерами доки не мінімізуються відмінності у межах кластерів і не максимізуються відмінності між кластерами.

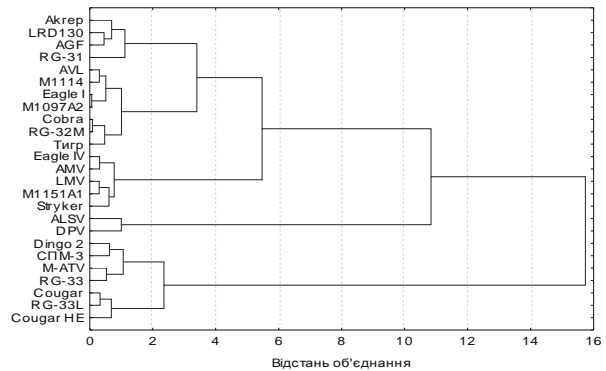


Рис. 5. Дендрограма для даних, що наведені у табл. 2. Метод Уорда

Дослідження роботи ітеративних методів показало, що головною причиною появи субоптимальних рішень є поганий початковий поділ даних. Ітерації за принципом k-середніх дуже чутливі до поганих початкових поділів, особливо при випадковому виборі початкового наближення. Блэшфилд і Олдендерфер показали, що розумний вибір початкового поділу покращує кінцевий результат. Іншими дослідниками доведено, що ітеративні методи дають оптимальне рішення за будь-якого початкового поділу, якщо дані мають хорошу структуру [13].

Проведення кластеризації за допомогою ітеративного методу k-середніх при початкових поділах: за умови початкового рішення, отриманого при ієрархічній кластеризації, при максимізації початкових відстаней між кластерами та при виборі початкових даних на постійних інтервалах, дає стабільне рішення. Результат поділу зразків на шість кластерів наведений на рис. 6.

Аналіз результатів класифікування БКМ показує, що в межах початкової вибірки даних присутня стійка структура, яка виявляється як ієрархічними агломеративними методами, так й ітеративними. Наявність структури свідчить про те, що зразки створюються для виконання стійкого спектру завдань, що поставлені перед збройними силами. Тому підвищення рівня часткових технічних характеристик при створенні та удосконаленні зразків має проводитися у межах визначених груп (табл. 3).

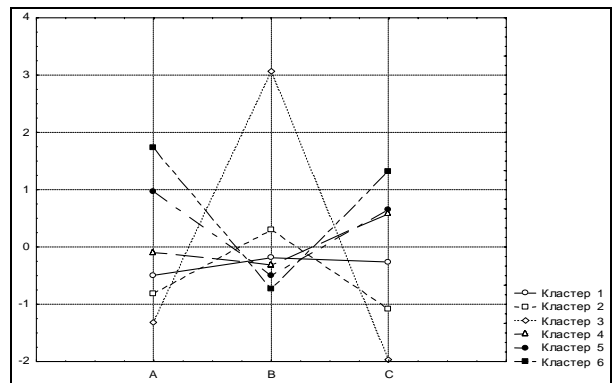


Рис. 6. Середні значення показників кластерів

Таблиця 3

Розподіл БКМ у випадку шести кластерів

| Назва кластера | Зразки | Інтервали значень у кластерах А/В/С | Середні значення у кластерах А/В/С |
|-----------------------------|---|---|------------------------------------|
| Легкі ударні автомобілі | ALSV, DPV | 0,8 100 - 125 115,2 - 114,9 | 0,8 112,5 115 |
| Легкі тактичні автомобілі | Akrep, Land Rover D130, AGF, RG-31 | 1,2 - 3,6 37,2 - 50,8 192,9 - 252,8 | 2,1 43,3 215,1 |
| Середні тактичні автомобілі | AVL, Cobra, Eagle I, Тигр, M1097A2, M1114, RG-32M | 2,3 - 3,6 27,5 - 35,6 274,6 - 341,5 | 2,9 31,3 308,9 |
| Важкі тактичні автомобілі | Eagle IV, Stryker, M1151A1, AMV, LMV | 3,1 - 4,4 20,4 - 33,9 372,9 - 426,4 | 3,9 28,1 405,2 |
| MRAP високої мобільності | Dingo 2, СПМ-3, М-АТV | 6,0 - 7,4 17,4 - 27,5 387,4 - 441,1 | 6,5 23,4 412,6 |
| Патрульні MRAP | Cougar, Cougar HE, RG-33L, RG-33 | 7,9 - 8,8 13,9 - 23,2 422,4 - 545,3 | 8,5 17,9 488,0 |

Висновки

Таким чином, розроблений метод класифікування БКМ за допомогою питомих показників дозволяє встановити відповідність між технічними характеристиками зразків та їх функціональним призначенням, забезпечує можливість розроблення раціональних варіантів захисту та обґрунтування специфічних технічних рішень для підвищення рівня живучості зразків у межах груп, що в цілому є способом мінімізації витрат на забезпечення захисту.

КЛАССИФИЦИРОВАНИЕ БОЕВЫХ КОЛЕСНЫХ МАШИН МЕТОДАМИ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

В.А. Голуб

Проведено класифікування бойових колесних машин методами кластерного аналізу при допомозі ітеративних та агломеративних методів. Наявність структури свідчить про те, що образці створюються для виконання стойкого спектра завдань, які поставлені перед озброєними силами.

Ключевые слова: боевая колесная машина, технические характеристики, классификация, кластер.

CLASSIFICATION OF MILITARY WHEELED VEHICLES MEANS CLUSTER ANALYSIS

V.A. Golub

Conducted classified military wheeled vehicles means cluster analysis using iterative and agglomerative methods. The presence of structure testifies that standards are created for implementation of proof spectrum of tasks which are put before military powers.

Keywords: military wheeled vehicles, technical parameters, classification, cluster.

Список літератури

1. Кучумов С. Взгляды военного руководства США на применение Сухопутных войск / С. Кучумов // Зарубежное военное обозрение. – 2009. – №1. – С. 32-35.
2. Coalition military fatalities. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://icasualties.org/Iraq/index.aspx>.
3. Yakovac J. State of TWV from the G-3/5/7 Perspective. – Tactical Wheeled Vehicles Conference, Monterey, California, 7 – 9 February 2010. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dticil/ndia/2010tactical/feb8JosephYakovac.pdf>.
4. Армейские автомобили: в 3 т. / под ред. А.Н. Антонова. – М.: Воениздат, 1970. – Т. 2: Типы автомобилей, компоновка, силовые передачи. – 1970. – 279 с.
5. Mine Resistant Ambush Protected (MRAP) Vehicle Program. [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/mrap-var.htm>.
6. Дюран Б. Кластерный анализ / Б. Дюран, П. Оделл. – М.: Статистика, 1977. – 127 с.
7. Вятчин Д.А. Нечеткие методы автоматической классификации: моногр. / Д.А. Вятчин. – Минск: УП "Технопринт", 2004. – 219 с.
8. Боровиков В.П. Популярное введение в программу STATISTICA / В.П. Боровиков. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
9. Мандель И. Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
10. Платонов В.Ф. Полноприводные автомобили / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
11. Объемно-массовый анализ защиты серийных танков / Э.И. Вульфелдт, Ю.Г. Ганчо, В.Ф. Жуков, В.Д. Касьянов // Вестник бронетанковой техники. – 1988. – № 10. – С. 22-24.
12. Критерий оценки конструктивно-компоновочного совершенства основного танка / В.П. Андреев, М.Д. Вашец, Н.Г. Изосимов, В.Д. Касьянов // Вестник бронетанковой техники. – 1987. – № 5. – С. 3-5.
13. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под ред. И.С. Енюкова. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

Надійшла до редколегії 9.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, ст. наук. співр. А.В. Гурнович, ЦНДІ озброєння та військової техніки ЗС України, Київ.