

Леонід Михайлович Артюшин (д-р техн. наук, професор, провідний науковий співробітник)¹

Олег Сергійович Бойченко (старший науковий співробітник)²

¹Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ, Україна

²Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Житомир, Україна

МЕТОД ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ МЕРЕЖІ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІЙСЬКАМИ

У статті розроблено метод енергоефективної кластеризації інформаційно-комунікаційної мережі автоматизованої системи управління військами, в якому за рахунок визначення контролера кластеру у відповідній кластерній зоні за результатами розв'язку багатокритерійної задачі обирається оптимальна структура (топологія) мережі з множини можливих. Проведено аналіз сучасних алгоритмів кластеризації мереж, на основі якого запропоновано новий метод, який враховує не тільки зв'язність вузлів мережі при виборі контролера кластеру, а ще й енергетичні параметри вузлів. В якості метрики енергоефективності застосовано безрозмірний коефіцієнт залишкового заряду акумуляторної батареї пристрою.

Ключові слова: алгоритм кластеризації, інформаційно-комунікаційна мережа, залишковий заряд акумуляторної батареї.

ВСТУП

Постановка проблеми в загальному вигляді. Проведений аналіз військових конфліктів та локальних війн останніх років дозволяє зробити висновок, що для інформаційного забезпечення проведення бойових дій та більш ефективного використання бойових можливостей військ (сил) застосовуються автоматизовані системи управління військами (АСУВ), технічною основою яких стали системи бездротового зв'язку. Дані системи працюють за принципом ad-hoc, який передбачає здатність елементів до самоорганізації в радіомережу без завчасного розгортання та планування, а мережі, які його використовують, поділяються на стаціонарні ad-hoc networks та мобільні радіомережі Mobile ad-hoc networks [1, 2].

У зв'язку з тим, що технологія MANET передбачає застосування мобільних пристроїв з обмеженим енергетичним ресурсом, постає важливе науково-практичне завдання щодо використання енергоефективних методів кластеризації інформаційно-комунікаційної мережі (ІКМ) з метою отримання оптимальної структури (топології) ІКМ АСУВ та збільшення часу життя ІКМ АСУВ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Завдання формування енергоефективної структури (топології) ІКМ АСУВ полягає у виборі того варіанту з множини можливих альтернатив, в якому контролери кластерів мають найбільший запас енергоресурсів та здатні забезпечити час

життя мережі не менший за встановлений пороговий рівень.

Сучасні алгоритми кластеризації мають різноманітні правила вибору контролерів кластерів, формують кластери різної розмірності, дозволяють змінювати «стрибкові» відстані між елементами кластеру та його контролером, а також використовувати різні схеми для підтримки кластерів [3, 4].

У зваженому кластерному алгоритмі (WCA) для визначення контролера кластера, враховуються наступні параметри елементів кластеру: степінь зв'язності, потужність передавача, динамічність (рухливість) та запас живлення [5]. Але при збільшенні кількості вузлів мережі, збільшується час, потрібний для розподілення ІКМ на кластери.

У динамічному енергоефективному алгоритмі кластеризації (DEECA) контролером кластера призначається той вузол, який має найбільше значення залишкової енергії та є найменш мобільним [6]. Недоліком цього алгоритму є те, що службова інформація не містить дані про зв'язність вузлів, що в свою чергу призводить до частой реконфігурації мережі.

Алгоритм кластеризації на основі репутації (RECA) обирає в якості контролерів кластерів вузли, які мають найбільший залишковий заряд, високий показник надійності та низьку рухливість. Процедура визначення контролерів кластерів відбувається лише один раз на етапі формування кластерів [7].

Таким чином, сучасні методи розподілення ІКМ на кластери обирають в якості контролерів кластерів пристрої, у яких найбільше значення залишкової ємності акумуляторних батарей. При цьому належність вузлів до відповідних кластерних зон за координатами не враховується, отже немає чітких геометричних обмежень щодо форми та розміру кластеру.

В АСУВ застосовується чіткий геометричний поділ на райони (зони) бойових дій, які обмежені відповідними координатами. В кожному районі серед наявних пристроїв обирається пристрій (контролер кластеру) для управління структурою (топологією). Слід зауважити, що пристрій за допомогою якого безпосередньо проводиться управління військами (силами) не завжди є тим пристроєм, який призначений для управління структурою (топологією) мережі.

Вимоги, що висуваються до контролера кластера в ІКМ АСУВ стосуються часу життя ІКМ, рівня залишкової ємності акумуляторної батареї пристроїв та можливості обміну інформацією з сусідніми пристроями, віддалених на відстань не більшу, ніж максимальний радіус дії пристрою. На сьогоднішній день дослідженню методів кластеризації для ІКМ АСУВ, які враховують наведені вимоги, не приділено належної уваги.

Метою статті є розробка методу енергоефективної кластеризації ІКМ АСУВ.

Виклад основного матеріалу дослідження

Розглянемо N – вузлову ІКМ АСУВ. Структуру мережі опишемо графом $G = (V, E)$, де $\{V_0, V_N\}$ – множина вершин та множина елементарних подій $\{\varepsilon_{i,j}\}$, $i, j = 1..N$, де $\varepsilon_{i,j}$ визначає подію, яка свідчить про наявність або відсутність зв'язку між вершинами V_i та V_j через ребро (V_i, V_j) . Імовірність виникнення події $\varepsilon_{i,j}$ дорівнює 1 при існуванні ребра (V_i, V_j) та 0 в іншому випадку.

Вузол мережі – це пристрій, який використовує бездротову технологію передачі даних та має такі параметри:

номінальна ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{ном}$ (Вт·год);

залишкова ємність акумуляторної батареї пристрою – $E_{зал}$ (Вт·год);

максимально можливий радіус дії пристрою за умови, що потужність випромінювача має своє максимальне значення – d (м).

Метод енергоефективної кластеризації ІКМ АСУВ має 4 етапи.

1. Ініціалізація мережі.

Відповідно до технології бездротової передачі даних між вузлами встановлюються зв'язки за максимально можливим радіусом дії пристрою. Для цього кожен вузол на максимальному рівні потужності випромінює ширококомовний пакет.

Відповідно до відповідей, які надійшли від сусідніх вузлів формується таблиця вузлів-сусідів та розраховується степінь зв'язності вузлів.

Після формування початкової структури (топології) ІКМ, формується матриця відстаней між вузлами: $d = [N \times N]$.

2. Розподілення ІКМ на кластерні зони.

Відповідно до структурного підходу виділення однорідних груп об'єктів при кластеризації відбувається розподілення мережі на кластерні зони за координатами вузлів будь-яким відомим методом (способом) [8].

Результатом виконання даного етапу є створення масивів даних, що містять номери вузлів, які належать до відповідної кластерної зони й одночасно є членами створюваного кластера.

3. Визначення контролерів кластерів.

Для визначення контролера кластера застосовано метод багатокритерійної оптимізації, а саме метод лінійної згортки часткових критеріїв [9, 10]:

$$J(x) = \sum_{i=1}^m \alpha_i \cdot f_i(x) \rightarrow \max_{x \in R}, \quad (1)$$

де m – кількість критеріїв оптимальності;

$f_i(x)$ – критерій оптимальності з множини критеріїв оптимальності R ;

α_i – вагові коефіцієнти, де $\alpha_i > 0$, $\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$.

Для призначення вузла контролером кластера обрано два параметри:

1) безрозмірний коефіцієнт залишкового заряду акумуляторної батареї i -ого пристрою:

$$K_i = \frac{E_{зал_i}}{E_{ном_i}};$$

2) нормоване значення степеню зв'язності i -ого пристрою [11]:

$$S_i^H = \frac{S_i}{S_{max}},$$

де S_i – степінь зв'язності i -ого пристрою;

$S_{max} = N - 1$ – максимально можлива степінь зв'язності пристрою в ІКМ.

Відповідно до виразу (1) контролером кластеру буде обрано той вузол, який у визначеній кластерній зоні задовольняє умові максимуму цільової функції:

$$C_{kk_i}^* = (\alpha_1 \cdot K_i + \alpha_2 \cdot S_i^H) \rightarrow \max, \quad (2)$$

де α_1, α_2 – вагові коефіцієнти;

i – номер вузла.

Результатом виконання етапу визначення контролерів кластерів є перезапис у вузлах кластерної зони таблиць вузлів-сусідів, де залишається лише один запис, а саме інформація про новопризначений контролер кластеру. Контролери кластерів зберігають інформацію не лише про сусідів в кластерній зоні, але й про сусідні контролери кластерів, з якими може бути встановлений зв'язок за максимальним радіусом дії.

Теоретичні основи створення і використання інформаційних технологій

4. Реорганізація ІКМ.

У кластерних зонах вузли з'єднуються з контролером кластера, а контролери кластерів між собою, тим самим створюючи опорну мережу контролерів кластерів.

Перевірку працездатності методу енергоефективної кластеризації ІКМ АСУВ

проведено на прикладі її зразка, що складається з 37 пристроїв, параметри яких наведено в таблиці 1. Кількість кластерних зон змінюється від 1 до 9. Коефіцієнти вагомості параметрів вузлів однакові: $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5$.

Таблиця 1

Параметри апаратної частини ІКМ АСУВ

№	Назва	$E_{ном}$ мВт·год	$E_{зал}$ мВт·год	№	Назва	$E_{ном}$ мВт·год	$E_{зал}$ мВт·год
1	Getac X500 Mobile-Server	94	62	20	Getac B300	94	5
2	Getac B300	94	89	21	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	49
3	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	47	22	Getac Z710	28	13
4	Getac B300	94	3	23	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	44
5	Getac Z710	28	11	24	Getac Z710	28	13
6	Getac F110	31	27	25	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	55
7	Getac B300	94	40	26	Getac Z710	28	21
8	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	54	27	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	43
9	Getac Z710	28	12	28	Getac Z710	28	6
10	Getac F110	31	25	29	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	3
11	Getac B300	94	72	30	Getac Z710	28	10
12	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	56	31	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	25
13	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	33	32	Getac Z710	28	5
14	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	42	33	Getac F110	31	21
15	Getac Z710	28	20	34	Getac Z710	28	10
16	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	21	35	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	57
17	Getac Z710	28	5	36	Panasonic Toughbook mk5 CF-19	59	11
18	Getac F110	31	10	37	Getac Z710	28	9
19	Getac F110	31	23				

Відповідно до першого етапу методу енергоефективної кластеризації ІКМ АСУВ отримано структуру (топологію), зображену на рис. 1.

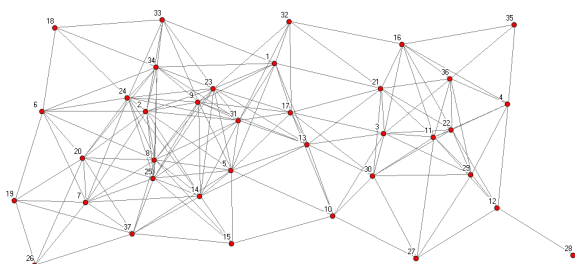


Рис. 1. Початкова структура мережі

На другому етапі відповідно до початкових даних та кількості необхідних кластерів формуються масиви, елементами яких є номери вузлів, що належать відповідній кластерній зоні за

координатами. Наприклад для ІКМ, яка розподілена на 5 кластерних зон, формуються 5 масивів вузлів:

Cluster1 = {6, 7, 18, 19, 20, 26};

Cluster2 = {2, 8, 9, 14, 24, 25, 33, 34, 37};

Cluster3 = {1, 5, 10, 13, 15, 17, 23, 31, 32};

Cluster4 = {3, 11, 16, 21, 22, 27, 30, 36};

Cluster5 = {4, 12, 28, 29, 35}.

На наступному етапі у кожній кластерній зоні визначається контролер кластеру шляхом вибору максимуму цільової функції з множини альтернатив. Наприклад, для кластерної зони 5 порядок визначення контролеру кластера наступний:

1. Розрахунок безрозмірного коефіцієнту залишкового заряду акумуляторної батареї i -ого пристрою, що входить до 5-ої кластерної зони:

$$K_4 = 0,032;$$

$$K_{12} = 0,949;$$

$$K_{28} = 0,214;$$

$$K_{29} = 0,051;$$

$$K_{35} = 0,966.$$

2. Розрахунок нормованого значення степені зв'язності i -ого пристрою, що входить до 5-ої кластерної зони:

$$S_4^H = 0,194;$$

$$S_{12}^H = 0,8167;$$

$$S_{28}^H = 0,028;$$

$$S_{29}^H = 0,222;$$

$$S_{35}^H = 0,083.$$

3. Розрахунок цільової функції для i -ого пристрою, що входить до 5-ої кластерної зони:

$$C_{кк}^* = \max\{0,113; 0,558; 0,121; 0,137; 0,525\} = 0,558.$$

Відповідно до наведених розрахунків контролером кластеру в 5-ій кластерній зоні призначено вузол 12.

Аналогічний порядок розрахунку цільової функції та визначення контролера кластера в інших кластерних зонах.

На четвертому етапі вузли кластерних зон встановлюють зв'язок лише зі своїм контролером кластеру, а контролери кластеру встановлюють зв'язок з найближчим контролером кластеру за максимальним радіусом дії.

Оцінювання ефективності застосування розробленого методу проведено шляхом порівняння значень коефіцієнту залишкового заряду акумуляторних батарей пристроїв, обраних в якості контролерів кластерів запропонованим методом кластеризації K_C з методом кластеризації, в якому для визначення контролерів кластерів використовується критерій – максимальна степінь зв'язності вузла K_S :

$$\Delta K_i = \frac{K_{C_i}}{K_{S_i}}, \quad (3)$$

де i – номер кластерної зони.

Отримані результати для двох методів на прикладі 5-ої кластерної зони наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення параметрів вузлів при виборі контролерів кластерів

Назва	Номер вузла	K	S^H	$C_{кк}^*$
Запропонований	12	0,949	0,167	0,558
Максимальна степінь зв'язності	29	0,051	0,222	0,137

Таким чином, застосування запропонованого методу кластеризації ІКМ АСУВ дозволяє обрати в якості контролера кластера 5-ої кластерної зони

той пристрій, в якого коефіцієнт залишкового заряду акумуляторної батареї більше в 19 разів.

В таблиці 3 наведені значення відношення коефіцієнтів залишкового заряду акумуляторної батареї контролеру кластеру для різних кластерних зон, розраховані за виразом (3).

Таблиця 3

Значення відношень коефіцієнтів залишкового заряду акумуляторних батарей пристроїв

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1,51	1,55	2,17	1,55	2,07	1,76	1,89	1,89
2		3,49	1,74	3,05	1,03	1,74	1,02	1,74	1
3			1,23	1	1	1,23	1,74	1,06	4,2
4				2,64	1,06	1	2,98	2,11	1
5					19	1,82	1,04	8,26	1,86
6						19	1,23	1	1,67
7							32,3	2,25	1,72
8								19	1
9									1

Відповідно до значень таблиці 3 побудовано графічну залежність середнього значення коефіцієнту залишкового заряду акумуляторних батарей пристроїв від кількості кластерних зон (рис.2).

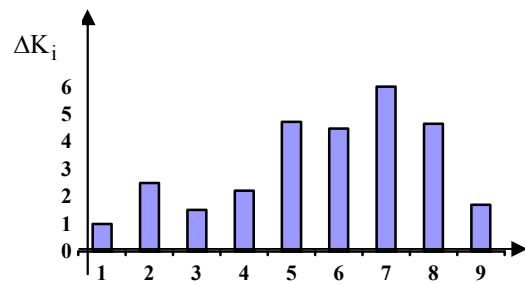


Рис. 2. Залежність середнього значення коефіцієнту залишкового заряду акумуляторних батарей пристроїв від кількості кластерних зон

З наведеного рисунку слідує, що найбільша енергоефективність досягається при розподіленні ІКМ на 7 кластерів. Але при проведенні серії експериментів було доведено, що найбільш енергоефективне розподілення мережі на кластери досягається для діапазону кількості кластерних зон від 4 до 7.

Результати моделювання дозволяють зробити висновок, що при застосуванні методу енергоефективної кластеризації ІКМ АСУВ збільшується тривалість існування ІКМ АСУВ за рахунок застосування в якості контролерів кластерів тих пристроїв, які мають найбільший коефіцієнт залишкового заряду акумуляторної батареї пристрою та найбільшу степінь зв'язності у визначеній кластерній зоні.

Висновки. У порівнянні з методом кластеризації ІКМ, в якому для вибору контролерів кластерів використовується лише один критерій – максимальна степінь зв'язності вузла, запропонований метод враховує енергетичні параметри вузла, які кількісно оцінюються за

допомогою коефіцієнта залишкового заряду акумуляторної батареї пристрою.

Розроблений метод енергоефективної кластеризації ІКМ АСУВ за рахунок використання методу лінійної згортки часткових критеріїв надає можливість обрати оптимальну структуру (топологію) мережі з множини можливих. Крім того, застосування методу енергоефективної кластеризації ІКМ АСУВ на етапі проектування мережі дозволяє проводити розрахунок часу життя мережі при розподіленні на різну кількість

кластерних зон, яка залежить від методу (способу) прив'язки до місцевості, де відбуваються бойові дії.

Подальші наукові дослідження будуть спрямовані на удосконалення існуючих алгоритмів кластеризації ІКМ та на розробку методики підвищення ефективності застосування АСУВ за рахунок зменшення кількості реорганізацій ІКМ шляхом вибору контролера кластеру, який забезпечить максимально можливий час життя мережі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пащетник О. Д. Аналіз світових тенденцій розвитку автоматизованих систем управління військами і зброєю / О. Д. Пащетник // Наука і техніка Повітряних Сил України. – 2015. – № 2 (19). – С. 64-68

2. Золотова І. Г. Стан та перспективи розвитку автоматизованих систем управління військами (зброєю) передових країн світу / І. Г. Золотова, М. Ю. Голобородько, О. В. Поривай // Зб. наук. праць Центру воєнно-стратегічних досліджень Нац. ун-ту оборони України. – К. : ЦВСД НУОУ, 2013. – № 2 (48). – С. 33–36.

3. Chawla M. Clustering in mobile ad-hoc networks: a review / M. Chawla, J. Singhai, J. L. Rana // International Journal of Computer Science and Information Security. – 2010. – Vol. 8, № 2. – P. 293-301.

4. Agarwal R. Review of weighted clustering algorithms for mobile ad-hoc networks / R. Agarwal, R. Gupta, M. Motwani // Computer Science and Telecommunications. – 2012. – Vol. 33, № 1. – P. 71-78.

5. Chatterjee M. WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks /

M. Chatterjee, S. Das, D. Turgut // Journal of Cluster Computing. – 2002. – Vol. 5, № 2. – P. 193-204.

6. Er I. I. Mobility-based d-hop clustering algorithm for mobile ad-hoc networks / I. I. Er, W. K. G. Seah // Proceedings of the IEEE wireless communications and networking conference. – 2004. – P. 2359-2364.

7. Elhdhili M. E. Reputation based clustering algorithm for security management in ad-hoc networks with liars / M. E. Elhdhili, L. B. Azzouz, F. Kamoun // International journal of information and computer security. – 2009. – Vol. 3, № 3-4. – P. 228-244.

8. Мандель И. Д. Кластерный анализ / Мандель И. Д. — М. : Финансы и статистика, 1988.—176 с. : ил.

9. Основи інформаційно-аналітичної діяльності в Державній прикордонній службі України : підручник / О. М. Шинкарук, Л. М. Артюшин, В. А. Кириленко, І. І. Стоянов. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2017. – 380 с.

10. Черноруцкий И. Г. Методы принятия решений / И. Г. Черноруцкий. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 426 с.: ил.

11. Boychenko O. Multicriterion Estimation of Efficiency of Mobile Network Clustering / O. Boychenko, Yu. Kulakov, V. Vorotnikov // The Advanced Science Journal. – 2015. – Vol 1. – P 61–67.

МЕТОД ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОЙСКАМИ

Леонид Михайлович Артюшин (д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник)¹

Олег Сергеевич Бойченко (старший научный сотрудник)²

¹*Государственный научно-исследовательский институт авиации, Киев, Украина*

²*Житомирський військовий інститут імені С. П. Корольова, Житомир, Украина*

В статье разработан метод энергоэффективной кластеризации информационно-коммуникационной сети автоматизированной системы управления войсками, в котором за счёт определения контролера кластера в соответствующей кластерной зоне по результатам решения многокритериальной задачи выбирается оптимальная структура (топология) сети из множества возможных. Проведён анализ современных алгоритмов кластеризации сетей, на основе которого предложен новый метод, который учитывает не только связанность узлов, а ещё и энергетические параметры узлов. В качестве метрики энергоэффективности использован безразмерный коэффициент остаточного заряда аккумуляторной батареи устройства.

Ключевые слова: алгоритм кластеризации, информационно-коммуникационная сеть, остаточный заряд аккумуляторной батареи.

ENERGY EFFICIENT CLUSTERING METHOD FOR INFORMATION-COMMUNICATION NETWORKS AN AUTOMATED COMMAND AND CONTROL SYSTEM

*Leonid M. Artushin (Doctor of Technical Science, Professor, Leading researcher)¹
Oleg S. Boychenko (Senior researcher)²*

¹State research institute of aviation, Kyiv, Ukraine

²Zhytomyr military institute named after S. P. Korolov, Zhytomyr, Ukraine

In the article was developed energy efficient clustering method for information-communication network of automated control and command system, which is by defining controller cluster in a corresponding cluster area of the results of solving a multicriteria problem is chosen the optimal structure (topology) of the network of the many possible. The analysis of modern algorithms for clustering networks based on which proposed a new method that considers not only the connectedness of the nodes, but also energy parameters of the nodes. As the metric of energy efficiency used dimensionless coefficient of the residual battery charge of the device.

Key words: clustering algorithm, information-communication network, the residual charge of the battery

References

1. Paschetnyk O. D. (2015) Analysis of global tendencies of automated control systems troops and weapons [*Analiz svitovykh tendencij rozvytku avtomatyzovanykh system upravlinnja vijskamy i zbrojeju*], Science and Technology of the Air Force of Ukraine, No. 2 (19), pp. 64–68.
2. Zotova I. G. (2013) State and prospects of development of CASS of management the troops (weapons) of front-rank countries of the world [*Stan ta perspektyvy rozvytku avtomatyzovanykh system upravlinnja vijskamy (zbrojeju) peredovykh krajin svitu*], Zbirnyk naukovykh pracj Centru vojenno-strategichnykh doslidzhenj Nacionaljnogho universytetu oborony Ukrainy, No. 2 (48), pp. 33–36.
3. Chawla M., Singhai J., Rana J. L. (2010) Clustering in mobile ad-hoc networks: a review, International Journal of Computer Science and Information Security, No. 2 (Vol. 18), pp. 293–301.
4. Agarwal R., Gupta R., Motwani M. (2012) Review of weighted clustering algorithms for mobile ad-hoc networks, Computer Science and Telecommunications, No. 1 (Vol. 33), pp. 71–78.
5. Chatterjee M., Das S., Turgut D. (2002) WCA: A Weighted Clustering Algorithm for Mobile Ad Hoc Networks, Journal of Cluster Computing. No 2 (Vol. 5), pp. 193–204.
6. Er I. I and Seah W. K. G. (2004) Mobility-based d-hop clustering algorithm for mobile ad-hoc networks, Proceedings of the IEEE wireless communications and networking conference. pp. 2359–2364.
7. Elhdhili M. E., Azzouz L. B., Kamoun F. (2009) Reputation based clustering algorithm for security management in ad-hoc networks with liars, International journal of information and computer security, No. 3-4 (Vol. 3), pp. 228–244.
8. Mandel I. D. Cluster analysis (1988) [*Klasterniy analiz*] M. : Finansy i statistika, P. 176.
9. Shynkaruk O. M., Artjushyn L. M., Kyrylenko V. A., Stojanov I. I. (2017) Fundamentals of information-analytical activity at the State Border Guard Service of Ukraine : textbook [*Osnovy informacijno-analitychnoji dijajlnosti v Derzhavnij prykordonnij sluzhbi Ukrainy : pidruchnyk*], Khmeljnyckyj : Vydavnyctvo NADPSU, P. 380.
10. Chernorutskiy I. G. (2005) Methods of decision making [*Metodyi prinyatiya resheniy*], SPb.: BHV-Peterburg, P. 426.
11. Boychenko O., Kulakov Yu., Vorotnikov V. (2015) Multicriterion Estimation of Efficiency of Mobile Network Clustering, The Advanced Science Journal, No. 1, pp. 61–67.