

# Наукові аспекти будівництва Збройних Сил України

УДК 355.814

І.С. Романченко<sup>1</sup>, В.М. Артюх<sup>2</sup>, М.М. Потьомкін<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, Київ

<sup>2</sup>Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ

## ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДА LARES ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ КОМПОНЕНТІВ ВЕКТОРА ГЛОБАЛЬНИХ ПРІОРИТЕТІВ, ОТРИМАНОГО ЗА МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

*На прикладах відповідних розрахунків показана доцільність застосування методу LARES для розподілу на однорідні групи компонентів вектора глобальних пріоритетів, отриманого за методом аналізу ієрархій, з урахуванням можливих абсолютних похибок експертних оцінювань.*

**Ключові слова:** національна безпека, метод LARES, вектор глобальних пріоритетів.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

На теперішній час під час проведення досліджень у військовій справі широко використовуються методи багатомірного порівняльного аналізу, які ґрунтуються на порівнянні альтернатив. Такі методи застосовуються при дослідженні проблемних питань як в галузі будівництва Збройних Сил, так і військового мистецтва [1, 2].

Одним з важливих завдань будівництва Збройних Сил України є обґрунтування рекомендацій щодо вибору раціонального варіанту складу систем військового призначення з групи альтернативних, тому розвиток та удосконалення існуючих методів багатомірного порівняльного аналізу таких систем є, на наш погляд, актуальним науковим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з перспективних методів багатомірного порівняльного аналізу складних систем військового призначення є метод аналізу ієрархій (МАІ) [3], який є корисним під час прийняття компромісних рішень на підставі формалізованих та неформалізованих факторів, вплив яких не описується аналітичними залежностями [2].

У загальному випадку МАІ містить такі етапи [2, 3]: визначення мети задачі, яка розв'язується; ієрархічне відображення задачі, починаючи з вершини (мети), через проміжні рівні ієрархії (критерії, від яких залежать нижчі рівні) до найнижчого рівня ієрархії – рівня альтернатив; заповнення матриць парних порівнянь; визначення відповідних векторів локальних пріоритетів; перевірку узгодженості матриць парних порівнянь; визначення вектора глобальних пріоритетів альтернатив; перевірку узгодженості всієї ієрархії. Розв'язком багатокритеріальної

задачі, отриманим за МАІ, є вектор глобальних пріоритетів альтернатив, який характеризує перевагу кожної альтернативи на визначеній множині критеріїв, ієрархічно пов'язаних з альтернативами.

На сьогодні МАІ досить широко використовується під час проведення досліджень проблемних питань будівництва Збройних Сил України, зокрема, для визначення раціональної структури органів управління силами і засобами ППО [2], для визначення відносної важливості об'єктів прикриття [4], для аналізу загроз національній безпеці [5] тощо.

Необхідно зазначити, що з часу появи МАІ глибокі дослідження проводились стосовно особливостей, притаманних його методичним основам, зокрема, точності розрахункових алгоритмів [6 – 8], забезпеченню узгодженості матриць парних порівнянь [9, 10], оцінюванню впливу точності експертних оцінювань на стійкість отриманого розв'язку [11] тощо.

Однак не менш важливим є і питання аналізу результатів, отриманих за МАІ, якими є компоненти вектора глобальних пріоритетів альтернатив. Зокрема, в [12] показано, що в загальному випадку такий аналіз є нетривіальним завданням і може потребувати кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, тобто їхнього розподілу на однорідні групи з урахуванням можливих абсолютних похибок експертних оцінювань.

Відповідно до [12] формальна постановка задачі кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, отриманого за МАІ, має такий вигляд.

Нехай  $\beta$  є вектор глобальних пріоритетів, кожна  $i$ -а компонента якого своїм значенням  $\beta_i$  характеризує важливість відповідної альтернативи ( $i = 1, \dots, I$ , де  $I$  – загальна кількість порівнюваних альтернатив),

і задана абсолютна похибка обчислення цих компонентів  $\Delta$ .

Окрім того, нехай задані центри  $K$  кластерів, кожний з яких характеризується своїм значенням важливості  $c_k$ , а приналежність  $i$ -ї компоненти вектора глобальних пріоритетів  $k$ -му кластеру визначається матрицею приналежності  $X$ , кожний елемент якої  $x_{ik}$  ( $i = 1, \dots, I, k = 1, \dots, K$ ) може набувати лише одного з двох значень: 1 (якщо  $i$ -а компонента вектора глобальних пріоритетів належить  $k$ -му кластеру) і 0 (в іншому разі). Додатково вводиться ознака наповнення  $k$ -го кластера  $Z_k$ , значення якої обчислюється виходячи з таких умов:

$$Z_k = 1, \text{ якщо } \sum_{i=1}^I x_{ik} > 0, \quad k = 1, \dots, K;$$

$$Z_k = 0, \text{ якщо } \sum_{i=1}^I x_{ik} = 0, \quad k = 1, \dots, K.$$

Тоді (з урахуванням абсолютної похибки обчислень) умова можливості віднесення  $i$ -ї компоненти вектора глобальних пріоритетів до  $k$ -го кластеру матиме вигляд

$$|c_k - \beta_i x_{ik}| \leq \Delta, \quad (1)$$

а умова забезпечення вимоги нормування може бути записана як

$$\sum_{k=1}^K c_k \sum_{i=1}^I x_{ik} = 1, \quad (2)$$

при цьому  $i$ -а компонента може належати лише одному кластеру

$$\sum_{k=1}^K x_{ik} = 1, \quad i = 1, \dots, I. \quad (3)$$

За таких вихідних умов та обмежень задача кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів є двокритеріальною та може бути розв'язана за методом регуляризації Тихонова [13, 14] для цільової функції виду

$$q \sum_{k=1}^K Z_k + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I (x_{ik} (c_k - \beta_i))^2 \Rightarrow \min, \quad (4)$$

де  $q$  – параметр регуляризації.

Однак перед остаточним формулюванням постановки задачі кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів доцільно звернути увагу на те, що значення його компонентів є дійсними, а не цілими числами, що в загальному випадку унеможливає забезпечення точного виконання обмеження (2). Тому це обмеження доцільно послабити, наприклад, у такий спосіб

$$|\sum_{k=1}^K c_k \sum_{i=1}^I x_{ik} - 1| \leq \delta, \quad (5)$$

де  $\delta$  – мале число (наприклад,  $\delta = 0,01$ ), а порушення умови нормування (за необхідності) компенсувати повторним нормуванням після кластеризації. При цьому абсолютна похибка кластеризації для  $i$ -ї ком-

поненти вектора глобальних пріоритетів стосовно  $k$ -го кластеру може бути оцінена за формулою

$$\varphi_{ik} = 100 x_{ik} (c_k / \sum_{k=1}^K c_k \sum_{i=1}^I x_{ik} - \beta_i).$$

З урахуванням послаблення обмеження (2), формалізована постановка задачі кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, отриманого за МАІ, набуває такого вигляду: знайти елементи  $x_{ik}$  матриці приналежності  $X$ , які мінімізують цільову функцію (4) з урахуванням обмежень (1), (3) та (5).

В [12] наведені конкретні приклади кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, в яких для розв'язання зазначеної задачі був використаний метод повного перебору.

Аналіз оперативності проведення розрахунків за методом повного перебору, наведений в [12], свідчить, що навіть на сучасних ПЕОМ витрати часу для аналізу достатньо великої кількості альтернатив (близько 10) можуть сягати майже двох годин. Однак в деяких випадках аналізу підлягають вектори глобальних пріоритетів з більшою кількістю компонент (наприклад, в [5] наведено порівняння деяких загроз для 11 та 12 альтернатив).

Тому з метою підвищення оперативності розрахунків доцільно розглянути можливість використання для розв'язання сформульованої задачі кластеризації метода LARES [15, 16], який добре зарекомендував себе під час розв'язання задач розподілу неоднорідних ресурсів.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** На основі викладеного було поставлене таке завдання досліджень: на конкретних прикладах оцінити перспективність застосування методу LARES для підвищення оперативності розрахунків під час кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, отриманого за МАІ.

## Виклад

### основного матеріалу досліджень

Необхідно зазначити, що в загальному випадку [15, 16] для використання методу LARES V незалежних змінних задачі оптимізації кодують набором дискретних змінних ( $x_j, j = 1, \dots, V$ ), які отримали назву „молекули”. Нехай  $\Omega_j$  є набором можливих значень змінної  $x_j$ ,  $\Omega_j = \{i_1, \dots, i_{M_j}\}$ , де  $M_j$  – загальна кількість можливих значень молекули  $j$ , тоді сукупність дискретних значень, що відповідають молекулі, називають „станами”.

Після того як вихідна задача закодована молекулярними змінними, єдиною інформацією, що використовується в методі LARES, є функція енергії, яка пов'язана з цільовою функцією. Розв'язком задачі оптимізації є нова „хімічна речовина”, яка складається з молекул, стани яких відповідають екстремуму енергії.

Виходячи з такого загального підходу, методика розв'язання задачі кластеризації за методом LARES повинна передбачати: вибір системи кодування незалежних змінних у молекули, визначення переліку станів для кожної молекули та формування функції енергії, яка перетворить вихідну задачу оптимізації з обмеженнями на задачу оптимізації без обмежень.

Аналіз з цих позицій наведеної вище задачі кластеризації свідчить, що формально вона належить до класу задач булевого програмування, в яких незалежні змінні можуть мати лише два значення: 0 або 1. Тому, на перший погляд, вбачається цілком природним розглянути кожний елемент матриці призначення як окрему молекулу, яка може перебувати лише в двох станах, а формування функції енергії здійснити на основі відомого методу штрафних функцій, відповідно до якого в цільову функцію вводяться додаткові „штрафні функції”, що штучно збільшують (для задачі мінімізації) її значення в разі порушення наявних обмежень,

$$q \sum_{k=1}^K Z_k + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I (x_{ik}(c_k - \beta_i))^2 + f_1 + f_2 + f_3 \Rightarrow \min, \quad (6)$$

- $f_1 = 0$ , якщо обмеження (1) виконується;
- $f_2 = 0$ , якщо обмеження (3) виконується;
- $f_3 = 0$ , якщо обмеження (5) виконується;
- $f_1 = 100$ , якщо обмеження (1) не виконується;
- $f_2 = 1000$ , якщо обмеження (3) не виконується;
- $f_3 = 10000$ , якщо обмеження (5) не виконується.

Обрана система штрафних функцій  $f_1$ ,  $f_2$  та  $f_3$  є достатньо зручною внаслідок того, що за значенням функції енергії (6) можна легко виявити обмеження, невиконання якого призвело до невірної розв'язку задачі.

З використанням зазначеної системи кодування та функції енергії (6) метод LARES був застосований для кластеризації компонентів векторів глобальних пріоритетів, запозичених з [5] (рис. 1 – 3). Вибір саме цих вихідних даних пояснюється тим, що в [12] задача кластеризації для них вже була розв'язана методом повного перебору, що надає можливість проведення співставлення результатів розрахунків та їхньої оперативності за обома методами.

Аналіз результатів кластеризації за методом LARES для цих вихідних даних засвідчив, що ні одна задача не була розв'язана правильно, при цьому позитивного результату не вдалося досягти ні варіюванням параметрів самого методу LARES, ні збільшенням кількості прогонів. Особливої уваги потребує той факт, що практично в усіх випадках причиною невірної розв'язку було порушення обмеження (3), тобто неможливість забезпечення приналежності альтернативи тільки одному кластеру за обраної системи кодування незалежних змінних.

Тому на наступному етапі досліджень було вирішено змінити систему кодування та вигляд функції енергії.

При цьому молекули були асоційовані з компонентами вектора глобальних пріоритетів, а кількість їхніх можливих станів визначалась як кількість кластерів, стосовно яких виконується обмеження (1). Виходячи з того, що кожна молекула одночасно може знаходитись лише в одному стані, можна стверджувати, що за обраної системи кодування обмеження (1) та (3) задовольняються автоматично, і врахуванню в функції енергії підлягає лише обмеження (5):

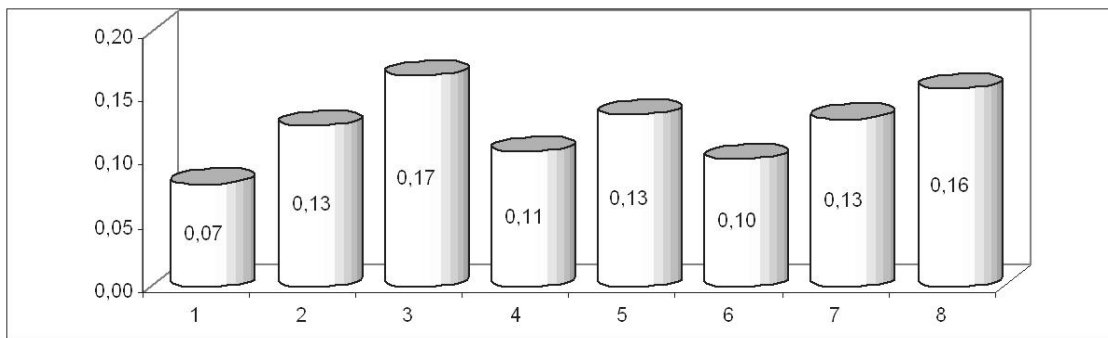


Рис. 1. Стовпчаста діаграма пріоритетності потенційних загроз національній безпеці України в сфері державної безпеки

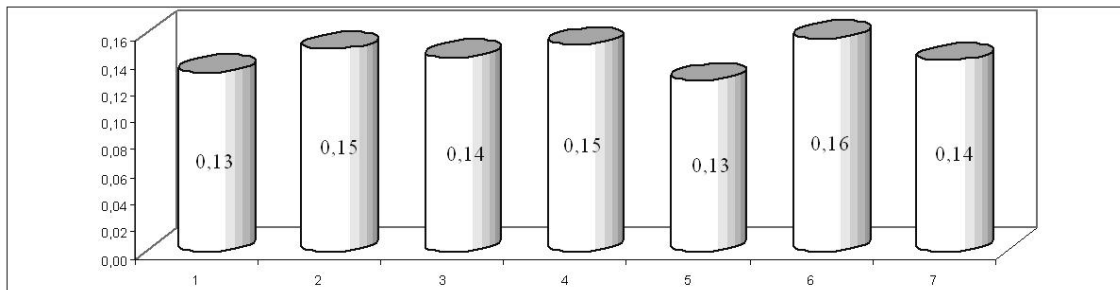


Рис. 2. Стовпчаста діаграма пріоритетності потенційних загроз національній безпеці України в соціальній та гуманітарній сферах

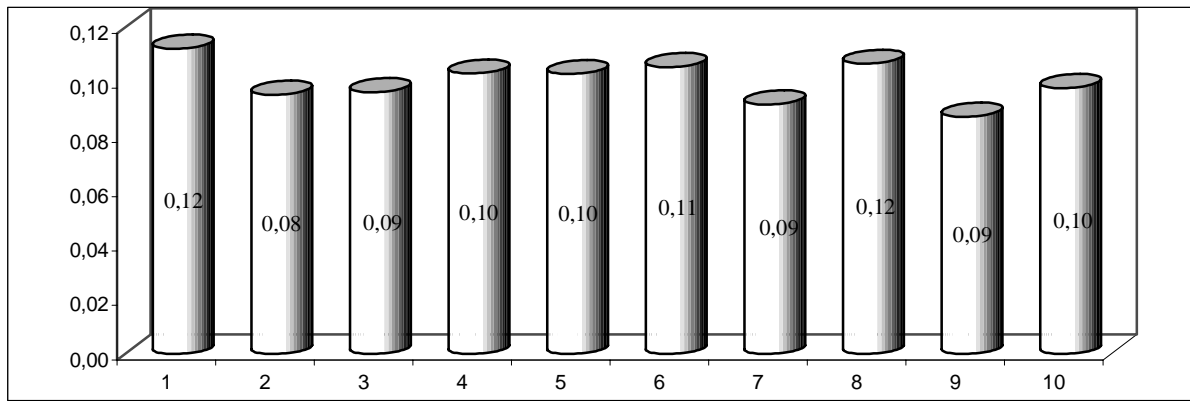


Рис. 3. Стовпчаста діаграма пріоритетності потенційних загроз національній безпеці України в екологічній сфері

$$q \sum_{k=1}^K Z_k + \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I (x_{ik}(c_k - \beta_i))^2 + f_3 \Rightarrow \min. \quad (7)$$

З використанням цієї системи кодування та функції енергії (7) метод LARES був застосований для кластеризації компонентів векторів глобальних пріоритетів, наведених на рис. 1 – 3.

Аналіз отриманих результатів засвідчив, що результати кластеризації за методом LARES повністю співпали з результатами, отриманими за методом повного перебору [12], при цьому оперативність розрахунків зросла настільки, що на ПЕОМ

з частотою процесора 450 МГц приблизно за 3 хв. вдалося розв'язати задачу, яка для розв'язання за методом повного перебору на ПЕОМ з частотою процесора 3,2 ГГц потребувала майже двох годин (табл. 1).

Зазначимо також, що за результатами додаткових розрахунків на ПЕОМ з частотою процесора 450 МГц встановлено, що кластеризація вектора глобальних пріоритетів для 23 альтернатив потребує приблизно 1 хв. для одного значення параметра регуляризації.

Таблиця 1

Порівняння оперативності розрахунків за методами повного перебору та LARES

Вихідні дані	Кількість альтернатив	Витрати часу залежно від частоти процесора та методу кластеризації		
		Повний перебір [12]		LARES
		450 МГц	3,2 ГГц	450 МГц
Рис. 1	8	12 хв. 38 с	3 хв. 19 с	2 хв. 34 с
Рис. 2	7	2 хв. 4 с	23 с	1 хв. 50 с
Рис. 3	10	-	1 год. 41 хв. 22 с	3 хв. 18 с

### Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, застосування методу LARES для кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, отриманого за МАІ, дозволяє істотно підвищити оперативність розрахунків щодо виключення з розгляду ситуацій, в яких надається невідроджена перевага одним альтернативам порівняно з іншими. При цьому показано, що принципову роль в успішності розв'язанні таких задач відіграє обрана система кодування змінних та відповідний вигляд функції енергії.

Подальший напрямок досліджень вбачається в розробці аналогічної методики на основі генетичних алгоритмів та порівнянні обчислювальної ефективності обох методів еволюційного моделювання під час розв'язання задачі кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, отриманого за МАІ.

### Список літератури

1. Романченко І.С. Використання таксономічних методів при проведенні досліджень у війсьній справі [Текст] / І.С.Романченко, О.М. Загорка // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2007. – № 3 (41). – С. 5-16.
2. Елементи дослідження складних систем військового призначення [Текст] / О.М. Загорка, С.П. Мосов,

А.І.Сбитнев, П.І. Стужук. – К.: НАОУ, 2005. – 100 с.

3. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем [Текст] / Т. Саати, К. Кернс. – М.: Радио и связь, 1991. – 224 с.

4. Руснак І.С. Один з підходів до визначення потрібного складу сил та засобів ППО в сучасних умовах [Текст] / І.С. Руснак, О.М. Загорка // Труды академії. – К.: НАОУ, 2004. – № 55. – С. 13-24.

5. Кравець О.П. Аналіз потенційних загроз національній безпеці України як одного з основних факторів, що впливають на вдосконалення форм і способів застосування Збройних Сил України [Текст] / О.П. Кравець // Зб. мат. постійно діючого наук.-практ. сем.: „Актуальні проблеми будівництва Збройних Сил, їх застосування та всебічного забезпечення” (04 листопада 2008 р.) – К.: ЦНДІ ЗС України, 2008. – Вип. 2 (5). – С. 77-84.

6. Трофимец В.Я. К вопросу разработки основных вычислительных процедур метода анализа иерархий [Электронный ресурс] / В.Я. Трофимец // Эл. журнал „Исследовано в России”. – Режим доступа до ресурсу: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/078.pdf>.

7. Трофимец В.Я. К вопросу разработки вспомогательных вычислительных процедур метода анализа иерархий [Электронный ресурс] / В.Я. Трофимец // Эл. журнал „Исследовано в России”. – Режим доступа до ресурсу: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2004/079.pdf>.

8. Трофимец В.Я. К вопросу оценки точности приближенных вычислительных процедур метода анализа иерархий [Электронный ресурс] / В.Я. Трофимец // Эл. журнал „Исследовано в России”. – Режим доступа до ресурсу: <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2005/102.pdf>.

9. Ногин В.Д. Принятие решений при многих критериях [Текст] / В.Д. Ногин. – СПб.: Ютас, 2007. – 104 с.

10. Ногин В.Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев [Текст] / В.Д. Ногин // Журнал выч. мат. и мат. физики. – 2004. – Т. 44, № 7. – С. 1259-1268.

11. Потьомкін М.М. Методичний підхід до оцінювання впливу точності експертних оцінювань на результати розв'язання задач багатокритеріальної оптимізації

складу систем військового призначення [Текст] / М.М. Потьомкін // Зб. мат. постійно діючого наук.-практ. сем.: „Актуальні проблеми будівництва Збройних Сил, їх застосування та всебічного забезпечення” (23 квітня 2009 р.) – К.: ЦНДІ ЗС України, 2009. – Вип. 1 (6). – С. 86-97.

12. Потьомкін М.М. Методика кластеризації компонентів вектора глобальних пріоритетів, отриманого за МАІ [Текст] / М.М. Потьомкін // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2010. – № 1 (51). – С. 119-133.

13. Калиткин Н.Н. Численные методы [Текст] / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

14. Тихонов А.Н. Математические методы в разведке полезных ископаемых [Текст] / А.Н. Тихонов, В.Б. Гласко, В.И. Дмитриев. – М.: Знание, 1983. – 64 с.

15. Потьомкін М.М. Удосконалення методу LARES для підвищення точності розв'язання задач розподілу неоднорідних ударних ресурсів [Текст] / М.М. Потьомкін // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – К., 2009. – № 1 (38). – С. 84-94.

16. Потьомкін М.М. Удосконалена концепція штучної хімічної реакції та її застосування для розв'язання сепарабельних задач нелінійного програмування [Текст] / М.М. Потьомкін // Матеріали П'ятої всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції „Українська наука XXI століття” (17–19 червня 2009 р.), Ч.4. – К.: ТОВ „ТК Меганом”, 2009. – С. 43-45.

Надійшла до редколегії 23.02.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Певцов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА LARES ДЛЯ КЛАСТЕРИЗАЦИИ КОМПОНЕНТОВ ВЕКТОРА ГЛОБАЛЬНЫХ ПРИОРИТЕТОВ, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

И.С. Романченко, В.Н. Артюх, М.М. Потемкин

На примерах соответствующих расчетов показана целесообразность применения метода LARES для распределения на однородные группы компонентов вектора глобальных приоритетов, полученного методом анализа иерархий, с учетом возможных абсолютных погрешностей экспертных оценок.

**Ключевые слова:** национальная безопасность, метод LARES, вектор глобальных приоритетов.

### APPLICATION OF LARES METHOD FOR CLUSTERIZATION OF COMPONENTS OF VECTOR OF GLOBAL PRIORITIES, GOT WHIS THE METHOD OF ANALYSIS OF HIERARCHIES

I.S. Romanchenko, V.M. Artyukh, M.M. Potemkin

On the examples of the proper calculations expedience of application of LARES method is rotined for distributing on the homogeneous groups of components of vector of global priorities, got whis the Method of analysis of hierarchies, taking into account the possible absolute errors of expert evaluations.

**Keywords:** national safety, LARES method, vector of global priorities.