

МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ РЕГІОНІВ УКРАЇНИ ЗА РІВНЕМ ВИКЛИКІВ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ БЕЗПЕКИ

Розробка стратегій, планів, програм щодо нейтралізації викликів (або загроз) енергетичної безпеки України на всіх рівнях управління повинно спиратися на повне й адекватне відображення динаміки розвитку енергетичної системи у кожній визначеній одиниці адміністративно-територіального устрою (регіону) на фоні відповідних індикаторів енергетичної безпеки. Характерною особливістю аналізу стану регіонів за рівнем енергетичної безпеки є досить велика кількість показників (індикаторів), які утворюють багатовимірні вектори. Часто індикатори виміряні в різних шкалах і це є проблемою при виборі алгоритму типізації (класифікації). В такому випадку доцільно використовувати методи багатовимірного, зокрема, кластерного аналізу. Рішення цієї задачі безпосередньо пов'язане з необхідністю використання різноманітних методів і алгоритмів класифікації (тобто методів об'єднання кластерів). Принципово всі вони розрізняються алгоритмами обчислень. При цьому результати кластеризації, що одержуються при використанні різних методів кластеризації, можуть істотно відрізнятися один від одного.

Ключові слова: методи кластерного аналізу, виклики енергетичної безпеки, індикатори, регіони України

Караєва Наталія

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ РЕГИОНОВ УКРАИНЫ ПО УРОВНЮ ВЫЗОВОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Разработка стратегий, планов, программ по нейтрализации вызовов (или угроз) энергетической безопасности Украины на всех уровнях управления должно опираться на полное и адекватное отражение динамики развития энергетической системы в каждой определенной единицы административно-территориального устройства (региона) на фоне соответствующих индикаторов энергетической безопасности. Характерной особенностью анализа

состояния регионов по уровню энергетической безопасности является достаточно большое количество показателей (индикаторов), которые образуют многомерные векторы. Часто индикаторы измерены в разных шкалах и это является проблемой при выборе алгоритма типизации (классификации). В таком случае целесообразно использовать методы многомерного, в частности, кластерного анализа. Решение этой задачи напрямую связано с необходимостью использования различных методов и алгоритмов классификации (т.е. методов объединения кластеров). Принципиально все они различаются алгоритмами вычислений. При этом результаты кластеризации, получаемые при использовании различных методов кластеризации, могут существенно отличаться друг от друга.

Ключевые слова: методы кластерного анализа, вызовы энергетической безопасности, индикаторы, регионы Украины

Karaieva Nataliia

METHODOLOGICAL ASPECTS CLUSTERING UKRAINIAN REGIONS BY LEVELS OF THE CHALLENGES ENERGY SECURITY

Development of strategies, plans, programs to neutralize the challenges (and threats) Ukraine's energy security at all levels should be based on full and adequate reflection of the dynamics of the power system in each specific unit of administrative-territorial unit (region) against the relevant indicators of energy security. A characteristic feature of the analysis of the regions in terms of energy security is quite a large number of indicators that form multi-dimensional vectors. Most indicators in different measurement scales and this is a problem in the choice of algorithm typing (classification). In this case it is advisable to use multivariate methods, in particular cluster analysis. This problem is directly related to the need to use different methods and classification algorithms (ie, methods of combining clusters). In principle, they all differ in algorithms computing. Thus clustering results obtained using various clustering methods may differ from each other.

Keywords: cluster analysis methods, the threats of energy security, the indicators, the regions of Ukraine

Постановка проблеми. Проблема забезпечення енергетичної безпеки (ЕнБ) є актуальною для всіх без винятку держав світу, незалежно від їх географічного положення, типу державного устрою, рівня економічного розвитку та промислового потенціалу. Зокрема, для України, внаслідок прискорення процесів глобалізації світової економіки, лібералізації та інтеграції енергетичних ринків актуалізується дослідження проблеми забезпечення ЕнБ держави, враховуючи той факт, що в даних умовах залежність енергетики України від кон'юнктури на світових ринках енергоресурсів створює виклики та загрози забезпечення надійного функціонування не лише енергетичного комплексу, а й економіки в цілому.

Розробка стратегій, планів, програм щодо нейтралізації викликів (або загроз) ЕнБ на всіх рівнях управління повинно спиратися на повне й адекватне відображення динаміки розвитку енергетичної системи у кожній визначеній одиниці адміністративно-територіального устрою (регіону) на фоні відповідних індикаторів ЕнБ. Проблеми, що вирішуються в кожному регіоні, повинні відповідати загальнодержавним завданням, але з урахуванням територіальних особливостей. Для формування найбільш ефективної регіональної стратегії забезпечення ЕнБ необхідно провести їх типологічний аналіз.

Характерною особливістю аналізу стану регіонів за рівнем загроз ЕнБ є досить велика кількість показників (індикаторів), які утворюють багатовимірні вектори. Часто індикатори виміряні в різних шкалах і це є проблемою при виборі алгоритму типізації (класифікації). В такому випадку доцільно використовувати методи багатовимірною, зокрема кластерного аналізу. Підхід до розроблення управлінських рішень за допомогою кластерного аналізу має можливість якісно поліпшити систему стратегічного керування енергетичною галуззю держави за допомогою адекватного реагування на вплив ключових загроз, що впливають на ЕнБ регіонів.

Аналіз досліджень та публікацій з проблеми. Методи кластеризації застосовуються в дуже різноманітних сферах діяльності. Так наприклад, в медицині – кластеризації піддаються симптоми захворювання чи види лікування, в біології часто метою кластеризації є розбиття сукупності тварин на види і підвиди, у психології – класифікація видів поведінки, у педагогіці – таксономія виховних

цілей тощо.

В економіці питанням розвитку та функціонування регіональних та промислових кластерів присвячені роботи вчених європейських країн, таких як: S. Czamanski і L. A. Ablas [1], E.E. Leamer [2], M. Porter [3], J. A. Toleno [4], V. P. Feldman і D. B. Audretsch [5] і багатьох інших. У вітчизняній практиці кластерний аналіз широко застосовуються в задачах групування регіонів та підприємств за показниками (індикаторами) тих чи інших складових економічної безпеки, зокрема: фінансової, інвестиційної, продовольчої, екологічної, соціальної та інш. Разом з тим, у задачах дослідження проблем енергетичної безпеки методи кластерного аналізу майже не застосовуються. В пошукових ресурсах Google нами знайдено лише одна робота на дану тему [6]. При цьому робота спрямована на обґрунтування використання методу k -середніх у задачах групування територій за рівнем ЕнБ (на прикладі районів Волинської області).

Метод кластеризації k -середніх (K -means Clustering) є найбільш розповсюдженим і найкраще дослідженим серед усіх методів кластеризації в задачах групування економічних об'єктів. Він мінімізує вищезгадане спотворення, розподіляючи дані між регіонами, що не перетинаються та ідентифікуються за їхніми центрами. Поширеність методу k -середніх зумовлено його головними перевагами: простотою, гнучкістю, швидкою збіжністю.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Проте, як зазначається в роботі [7], привабливість методу k -середніх суттєво обмежується його недоліками, зокрема: результати кластеризації за цим методом значною мірою залежать від вибору початкової конфігурації центроїдів (ініціалізації); робота алгоритму суттєво уповільнюється під час кластеризації великих обсягів даних; алгоритм може сходиться до локального мінімуму цільової функції.

Метою статті є дослідження методологічних аспектів кластерного аналізу регіонів України за рівнем викликів (загроз) ЕнБ.

Виклад основного матеріалу. Незалежно від постановки задачі дослідження проблем забезпечення безпечного розвитку регіонів, алгоритм застосування кластерного аналізу має передбачати виконання основних п'яти етапів:

1. Визначення множини характеристик, по яких будуть

оцінюватися об'єкти у вибірці.

2. Обґрунтування застосування методів кластерного аналізу для створення груп схожих об'єктів.

3. Визначення оптимальної кількості кластерів.

4. Обчислення значень тієї чи іншої міри схожості між об'єктами.

5. Перевірка достовірності результатів кластеризації.

Розглянемо методологічну сутність виконання основних етапів алгоритму кластерного аналізу в задачах групування регіонів України за рівнем загроз ЕнБ.

Прикладом реалізації першого етапу (тобто формування множини характеристик, по яких будуть оцінюватися об'єкти у вибірці) слугує система індикаторів найбільш впливових загроз ЕнБ регіонів, що сформована за результатами дослідження Національного інституту стратегічних досліджень України [8]:

- енергоємність національної економіки є у 3-4 рази більшою ніж у найближчих сусідів у ЄС (Польщі, Чехії, Угорщині) та більшою ніж у країнах СНД (Казахстані, Російській Федерації, та Білорусії), що створює серйозний виклик конкурентоспроможності країни;

- країна забезпечує себе первинними ресурсами лише на 61%, а 39% складає дефіцит, який забезпечується імпортуванням енергоресурсів із інших країн (коментар авторів – імпорт природного газу до 2013 р. сягав 68% його загального споживання у країні);

- питомі витрати умовного палива на виробництво електроенергії на ТЕС та ТЕЦ залишаються високими і сягають 379,4 кг у.п./тис. кВт*г у порівнянні з відповідним показником розвинутих країн у 310-320 кг у.п./тис. кВт*г. Витрати на виробництво теплоенергії складають 179 кг у.п./Гкал при тому, що середньосвітовий показник питомих витрат енергоресурсів на виробництво 1 Гкал теплової енергії складає 140 – 150 кг у.п.;

- протяжність трубопроводів у країні становить 17000 кілометрів, а рівень їх зносу дорівнює 70 %. Вартість ремонту одного кілометра магістрального газопроводу становить 25-28 млн дол. Для того щоб знизити знос трубопровідної інфраструктури до 50 %, знадобиться інвестувати не менше 150 млрд дол. протягом найближчих 10 років, що порівняно з річним бюджетом країни. Високовольтні лінії потужністю 35-110 кВт мають знос в середньому 40-50 %.

- у гірничодобувній галузі знос основних засобів склав 47,8 %, в обробній галузі – 66,8 %, в енергетиці – 60,7 %, у рибальстві – 54,2 %, будівельній сфері – 50,1 %. У цілому по всій українській промисловості – 63 %. Знос житлового фонду в Україні оцінюють в 47,2 %. Близько 63 % труб українських теплових і водних мереж є зношеними;

- поширені процеси деградації земель, ерозія ґрунтів охоплює 57 % території. Щорічно змивається більш 500 млн т ґрунту. Площа еродованих земель щорічно збільшується більш ніж на 80 тис. Га. Економічний збиток від ерозії вже перевищує 10 млрд ₴абл. На рік.

Крім того, за Індексом якості навколишнього середовища Україна посідає 87 місце серед країн світу, на її території знаходиться 1,2 млн. тонн відходів, із яких близько 75% належить до 3-го класу небезпеки. За рівнем використання водних ресурсів країна знаходиться на 95 місці з 122 країн світу, а рівень технологічного навантаження в цілому по країні в 4-5 разів перевищує аналогічні показники інших країн [9]. Для подальшого розгляду методології кластерного аналізу, згідно вище оглянутих досліджень проблем забезпечення ЕнБ України, сформуємо систему вихідних даних індикаторів загроз ЕнБ регіонів. У ₴абл.. 1 наведено середні значення індикаторів загроз України в регіональному розрізі за 2012 р.

Таблиця 1

Середні значення індикаторів загроз ЕнБ у регіональному розрізі за 2012 р.

Регіон	Значення індикаторів загроз ЕнБ								
	X ₁ *	X ₂ **	X ₃ **	X ₄ **	X ₅ **	X ₆ **	X ₇ **	X ₈ **	X ₉ ** *
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
АР Крим	49,3	1,34	1859	59.9	1,9	20,5	14,8 3	4,0	0,22
Вінницька	62,9	2,34	1347	71.0	1,1	26,5	11,6 0	50,1	2,23
Волинська	56,9	1,24	739	59.6	2,10	18,4	8,95	2,5	0,15
Дніпропетровська	49,5	7,69	6382	62.3	0,01	6,8	5,67	154,6	3,46
Донецька	62,9	10,5 9	8152	67.0	0,15	12,4	23,8 1	163,9	4,64
Житомирська	60,2	1,27	1029	60.3	1,19	16,5	13,8 4	2,6	0,14
Закарпатська	64,3	1,02	764	47.7	2,41	9,9	30,7 9	1,4	0,21
Запорізька	59,9	2,38	2030	62.7	0,06	21,6	17,4 3	70,5	2,46
Івано-Франківська	58,1	4,44	1902	76.7	1,01	19,0	10,1 8	129,0	7,57
Київська	53,0	3,70	2953	55.7	1,09	13,2	74,2 9	67,1	1,64

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кіровоградська	48,8	1,38	798	73.9	1,40	14,2	12,65	3,5	0,16
Луганська	44,7	7,02	4071	47.5	0,39	7,2	6,00	77,4	3,31
Львівська	57,0	1,87	2653	58.1	1,21	28,7	30,37	23,7	1,22
Миколаївська	45,0	1,70	1377	66.2	0,89	4,4	58,64	5,7	0,24
Одеська	60,8	1,64	2859	41.9	0,40	40,2	83,85	2,6	0,11
Полтавська	45,5	6,46	3509	71.7	0,00	13,1	7,10	14,1	0,39
Рівненська	38,5	1,84	1407	51.1	0,80	14,2	12,68	6,5	0,42
Сумська	52,1	1,79	1425	72.4	2,10	41,5	26,06	7,5	0,42
Тернопільська	58,6	1,23	953	44.8	1,89	32,1	20,39	2,0	0,15
Харківська	46,7	3,13	3837	72.7	0,06	27,2	16,12	66,0	2,01
Херсонська	61,5	1,07	647	77.4	1,34	10,2	40,91	1,3	0,08
Хмельницька	51,2	1,41	1153	49.8	1,73	20,2	24,56	6,6	0,54
Черкаська	43,9	2,85	2653	54.1	0,64	21,2	20,10	26,7	1,01
Чернівецька	62,7	1,01	571	8.80	0,01	12,2	38,16	1,8	0,19
Чернігівська	63,8	1,92	1114	46.2	1,72	27,2	31,98	21,8	1,18
м. Київ	66,1	2,42	5004	58.2	0,03	14,6	38,79	10,0	0,13

Примітка: 1) авторська розробка за даними Державного комітету статистики України та Аналітичного центру «БЕСТ» (<http://www.energy-index.com.ua>) за відповідні роки; 2)* – дані Аналітичного центру «БЕСТ» (<http://www.energy-index.com.ua>); 3)** – дані статистичних бюлетенів Державної служби статистики України, зокрема: "Використання енергетичних матеріалів та продуктів перероблення нафти", "Результати використання палива, теплоенергії та електроенергії", "Про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж України", "Виробництво і споживання електроенергії та окремі техніко-економічні показники роботи електростанцій в Україні"; 4)*** – розраховано авторами; 5) X_1 – енергоефективність, % від ЄС; X_2 – середньодушові витрати енергетичних матеріалів та продуктів перероблення нафти, т у. п. / особу; X_3 – витрати газу природного, тис. т.у.п.; X_4 – ступінь зносу основних засобів виробництва та розподілення електроенергії, газу та води, % (дані за 2011 р.); X_5 – частка втрат при транспортуванні, розподілі та зберіганні енергетичних матеріалів та продуктів перероблення нафти у загальному обсязі витрат, %; X_6 – частка ветхих

та аварійних теплових та парових мереж у загальній протяжності, % (міські поселення та сільська місцевість); X_7 – частка капітальних інвестицій в виробництво та розподілення електроенергії, газу та води у загальному обсязі освоєння, %; X_8 – обсяги викидів забруднювальних речовин в атмосферу від енергетики на душу населення, кг/особу; X_9 – енерговикомісткість ВРП (відношення викидів забруднювальних речовин в атмосферу від енергетики до ВРП), кг / 1000 грн.

Стосовно другого етапу, слід зазначити, що кластерний аналіз є набором різноманітних методів і алгоритмів класифікації (тобто методів об'єднання кластерів). Принципово всі вони розрізняються способами визначення близькості між об'єктами й кластерами, а також алгоритмами обчислень. При цьому результати кластеризації, що одержуються при використанні різних методів кластеризації, можуть істотно відрізнятися один від одного.

Загальноприйнятою класифікації методів кластеризації не існує. Наявні методи побудови кластерних моделей за способами обробки даних утворюють два основні типи (ієрархічний і неієрархічний) та сім груп методів: ієрархічні агломеративні, ієрархічні дивізивні, ітеративні методи групування, факторні, методи згущень, методи пошуку модальних значень щільності та методи, що використовують теорію графів. Кожний тип включає безліч підходів і алгоритмів. Авторська спроба побудови класифікації методів кластерного аналізу наведена на рисунку 1.

Ієрархічні методи характеризуються побудовою ієрархічної чи деревоподібної структури, коли відбувається послідовне угруповання чи поділ об'єктів щодо інших об'єктів. При ієрархічній кластеризації виконується послідовне об'єднання менших кластерів у великі чи поділ великих кластерів на менші. Іншими словами, ієрархічні методи кластеризації розрізняються правилами побудови кластерів. У якості правила виступають критерії, що використовуються при вирішенні питання про «схожість» об'єктів при їх об'єднанні в групу (агломеративні методи) або розділення на групи (дивізивні методи).

Група ієрархічних агломеративних методів (Agglomerative Nesting, AGNES) характеризується послідовним об'єднанням вихідних елементів і відповідним зменшенням числа кластерів. Ієрархічні

дивізимні (ділимі) методи (Divisive Analysis, DIANA) становлять логічну протилежність агломеративним методам. На початку роботи алгоритму всі об'єкти належать одному кластеру, який на подальших кроках ділиться на менші кластери, в результаті утворюється послідовність розщеплюючих груп.

Неієрархічні методи – це набір методів, у яких спочатку здійснюється оптимізація деякої цільової функції, що визначає оптимальне у певному сенсі об'єднання об'єктів у кластери, визначається центр кластера або кілька центрів, потім групуються всі об'єкти в межах заданого від центра граничного значення.

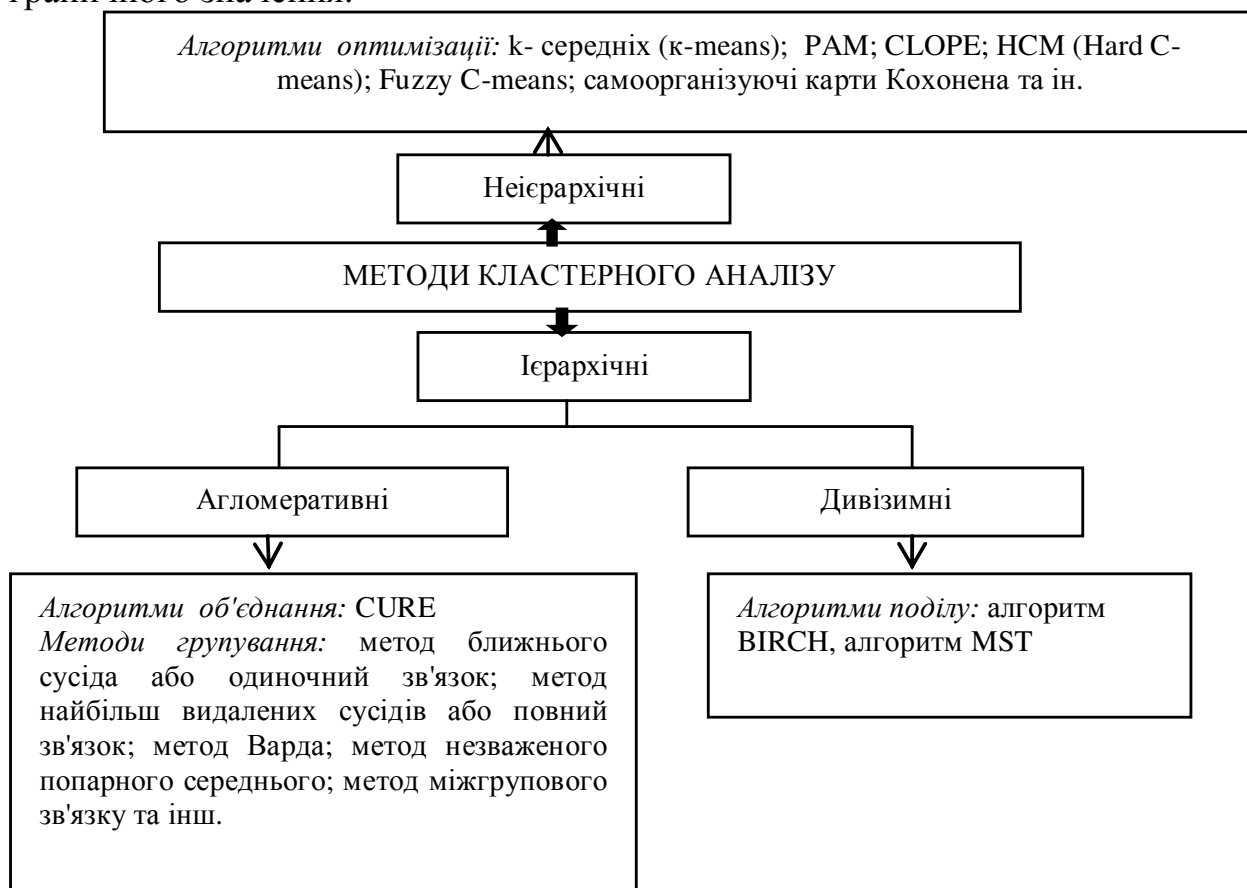


Рис. 1. Класифікація методів кластерного аналізу

Вибираючи між ієрархічними й неієрархічними методами, необхідно враховувати їхні переваги та недоліки. Також виникає питання, чи впливає застосування того чи іншого методу в рамках однієї групи на структуру кластерів?

В табл. 2 наведено результати угруповання регіонів України за індикаторами загроз ЕнБ (згідно даних табл. 1) на основі методів

побудови ієрархічної чи деревоподібної структури. Дослідження виконані за допомогою статистичного пакету SPSS 16 та Microsoft Excel 2003.

Таблиця 2

Угрупування регіонів за різними методами ієрархічної кластеризації

Регіон	Методи: 1 (міжгрупові зв'язки); 2 (внутрішньогрупові зв'язки), 3 (ближчий сусід), 4 (дальній сусід), 5 (центроїдний), 6 (медіанний), 7 (Варда)						
	1	2	3	4	5	6	7
Автономна Республіка Крим (АРК)	1	1	1	1	1	1	1
Вінницька	1	1	1	1	1	1	1
Волинська	1	1	1	1	1	1	1
Дніпропетровська	2	2	2	2	2	2	3
Донецька	2	2	2	2	2	2	3
Житомирська	1	1	1	1	1	1	1
Закарпатська	1	1	1	1	1	1	1
Запорізька	1	1	1	1	1	1	2
Івано-Франківська	3	3	3	3	3	3	3
Київська	1	1	1	1	1	1	4
Кіровоградська	1	1	1	1	1	1	1
Луганська	2	2	2	2	2	2	3
Львівська	1	1	1	1	1	1	1
Миколаївська	1	1	1	1	1	1	4
Одеська	4	4	4	4	4	4	5
Полтавська	1	1	1	1	1	1	2
Рівненська	1	1	1	1	1	1	2
Сумська	1	1	1	1	1	1	1
Тернопільська	1	1	1	1	1	1	1
Харківська	4	4	4	4	4	4	2
Херсонська	1	1	1	1	1	1	1
Хмельницька	1	1	1	1	1	1	1
Черкаська	1	1	1	1	1	1	2
Чернівецька	5	5	5	5	5	5	5
Чернігівська	1	1	1	1	1	1	1
Київ	1	1	1	1	1	1	2

Дані таблиці 2 свідчать про схожість структури кластерів у випадку застосування методів 1-6. Дещо відрізняється структура кластерів у випадку застосування методу Варда. Даний метод побудований таким чином, щоб оптимізувати мінімальну дисперсію усередині кластерів. Ця цільова функція відома як внутрігрупова сума квадратів або сума квадратів відхилень.

Для реалізації третього етапу алгоритму кластерного аналізу необхідно визначити кількість кластерів, на яку розбиватиметься досліджувана сукупність об'єктів. Найкращою (тобто оптимальною) розбивкою вважається та, що приводить до найбільшої ентропії (невизначеності). Причому відхилення ентропії від максимального значення повинне бути мінімальним.

Слід зазначити, що ієрархічні методи, на відміну від неієрархічних, відмовляються від визначення кількості кластерів, а будують повне дерево вкладених кластерів.

Ентропія класифікації r об'єктів розбивається на D класів і визначається за виразом (1):

$$H = - \sum_{d=1}^D \frac{r_d}{r} \log_2 \frac{r_d}{r}, \quad (1)$$

де H – ентропія класифікації, біт; r_d – кількість регіонів, що потрапили в d -ий клас, од.

Розрахунок ентропії при різних варіантах кількості кластерів методом k -середніх за даними таблиці 1 наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Розрахунок ентропії при різних варіантах кількості кластерів методом k -середніх

Кількість кластерів	Кількість регіонів у кластерах, одиниць										Значення ентропії, біт
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	8	2	16	-	-	-	-	-	-	-	1,24
4	1	7	16	2	-	-	-	-	-	-	1,41
5	7	4	13	1	1	-	-	-	-	-	1,79
6	7	3	13	1	1	1	-	-	-	-	1,91

Продовж. табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
7	3	7	9	1	1	1	4	-	-	-	2,36
8	7	1	9	1	1	4	1	2	-	-	2,46
9	3	7	6	1	1	1	1	4	2	-	2,78
10	3	4	5	1	1	4	2	1	4	1	3,07

Максимально можливе значення ентропії H_{max} визначається за виразом (1) при значеннях r_{ab} , рівних між собою, тобто кількість об'єктів рівномірно розподілена в кластерах. Приклад розрахунку максимальної ентропії при різних варіантах кількості кластерів регіонів за даними табл. 1 наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Розрахунок максимальної ентропії при різних варіантах кількості кластерів регіонів

Кількість кластерів	Кількість регіонів у кластерах, одиниць										Максимально можлива ентропія, біт
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
3	9	9	8	-	-	-	-	-	-	-	1,58
4	7	7	6	6	-	-	-	-	-	-	2,00
5	6	5	5	5	5	-	-	-	-	-	2,32
6	5	5	4	4	4	4	-	-	-	-	2,58
7	4	4	4	4	4	3	3	-	-	-	2,80
8	4	4	3	3	3	3	3	3	-	-	2,99
9	3	3	3	3	3	3	3	3	2	-	3,16
10	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	3,30

Відхилення ентропії (ΔH) від максимального значення визначено за виразом (2):

$$\Delta H = \frac{(H_{max} - H) \cdot 100}{H_{max}}. \quad (2)$$

Результати розрахунку відхилення ентропії від максимального значення наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

Відхилення ентропії від максимального значення

Кількість кластерів	Максимально можлива ентропія, біт	Значення ентропії, біт	Відхилення ентропії від максимального можливого значення, %
3	1,58	1,24	21,73
4	2,00	1,41	29,54
5	2,32	1,79	22,91
6	2,58	1,91	25,81
7	2,80	2,36	15,72
8	2,99	2,46	17,57
9	3,16	2,78	12,02
10	3,30	3,07	6,81

За даними таблиці 5 зроблено висновок, що найменше відхилення ентропії від максимального можливого значення спостерігається при групуванні регіонів на 10 кластерів $H = 6,81\%$.

Для реалізації четвертого етапу використовують наступні варіанти для вимірювання відстаней між об'єктами в кластерах: Евклідова відстань (Euclidean distances), квадрат евклідова відстані (Squared Euclidean distances), Манхеттенська відстань або відстань міських кварталів (City-block (Manhattan) distances), відстань Чебишева (Chebychev distances metric), ступенева відстань.

Стосовно п'ятого етапу, слід зазначити, що близькі результати кластеризації, отримані різними методами побудови ієрархічної структури, можуть бути основою твердження про об'єктивність отриманих результатів. У той же час, результати кластеризації можуть не мати достатнього статистичного обґрунтування. Також, під час розв'язання задач кластеризації допустима нестатистична інтерпретація отриманих результатів, а також доволі велика розмаїтість варіантів поняття кластера. Така нестатистична інтерпретація дає можливість аналітикові одержати результати кластеризації, які задовольняють його, що у разі використання інших методів часто доволі складно.

Висновки. Методологічні положення кластерного аналізу стану регіонів України за рівнем загроз ЕнБ полягають у наступному:

- алгоритм застосування кластерного аналізу передбачає виконання основних п'яти етапів: 1) визначення множини

характеристик, по яких будуть оцінюватися об'єкти у вибірці; 2) обґрунтування застосування методів кластерного аналізу для створення груп схожих об'єктів; 3) визначення оптимальної кількості кластерів; 4) обчислення значень тієї чи іншої міри схожості між об'єктами; 5) перевірка достовірності результатів кластеризації;

- вибираючи між ієрархічними й неієрархічними методами, необхідно враховувати їхні переваги та недоліки;

- ієрархічні методи, на відміну від неієрархічних, відмовляються від визначення кількості кластерів, а будують повне дерево вкладених кластерів;

- розрахункові величини значення найменшого відхилення ентропії від максимально можливого дозволяє визначити оптимальну кількість кластерів у випадку застосування неієрархічних методів кластеризації;

- близькі результати кластеризації, отримані різними методами побудови ієрархічної структури, можуть бути основою твердження про об'єктивність отриманих результатів.

Подальшого наукового дослідження у контурі запропонованої методології щодо кластеризації регіонів України за рівнем викликів енергетичної безпеки потребують методи перевірки достовірності результатів кластеризації.

Література

1. Czamanski S. and Ablas L. A. Identification of industrial clusters and complexes: a comparison of methods and findings // Urban Studies. –1979. –V. I6 . – P. 61-80.

2. Leamer E. E. Sources of International Comparative Advantage: Theory and Evidence // Cambridge, MIT Press, 1984. [Electronic resource]. - Access mode : http://www.anderson.ucla.edu/faculty/edward.leamer/selected_research/ucla_anderson_faculty_edward_leamer_selected_research.html.

3. Porter, M. The Competitive Advantage of Nations. New York : Free Press, 1990. (Конкурентные преимущества стран). Портер, М. Конкурентная стратегия. Методика анализа отраслей и конкурентов [Текст] : пер. с англ. / М. Е. Портер. - 2-е изд. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 453 с.

4. Tolenado J. A. *Propos des Filieres Industrielles* // *Revue d'Economie Industrielle*. – 1978. – Vol.6, №4. – P. 149-158.

5. Feldman V. P., Audretsch D. B. *Innovation in Cities: Science based Diversity, Specialization and Localized Competition* // *European Economic Review*. – 1999. – № 43. – P. 31-39.

6. Розен В. П. Використання методу k-середніх кластерного аналізу під час розв'язання задач енергетичної безпеки територій / В. П. Розен, П. П. Іщук, Л. В. Давиденко/ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/7693/1/13.PDF>.

7. Ткаченко О. М. Метод кластеризації на основі послідовного запуску k-середніх з удосконаленням вибором кандидата на нову позицію вставки / О. М. Ткаченко, О. Ф. Грійо Тукало; О. В. Дзісь; С. М. Лаховець. // *Наукові праці ВНТУ*, 2012, № 2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://ot.vntu.edu.ua/content/articles/tkachenko/Наукові%20праці%20ВНТУ_2012.pdf.

8. Потапенко В. Г. Державна політика сталого розвитку на засадах "зеленої економіки". / В.Г. Потапенко/ Аналітична доповідь Національного інституту стратегічних досліджень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [<http://www.niss.gov.ua/articles/1237/>].

9. ECOSMART: Україні потрібна концепція зеленої економіки. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ecoclubua.com/2012/05/ecosmart-ukrajini-potribna-kontseptsiya-zelenoji-ekonomiky/>.

1. Czamanski S. and Ablas L. A. Identification of industrial clusters and complexes: a comparison of methods and findings // *Urban Studies*. –1979. –V. I6 . – P. 61-80 [in English].

2. Leamer E. E. *Sources of International Comparative Advantage: Theory and Evidence* // Cambridge, MIT Press, 1984. [Electronic resource]. - Access mode : http://www.anderson.ucla.edu/faculty/edward.leamer/selected_research/ucla_anderson_faculty_edward_leamer_selected_research.html [in English].

3. Porter, M. *The Competitive Advantage of Nations*. New York : Free Press, 1990. (Konkurentnye prey`mushhestva stran). Porter, M. Konkurentnaya strategy`ya. Metody`ka analy`za otraslej y` konkurentov [Tekst] : per. s angl. / M. E. Porter. - 2-e y`zd. – M. : Al`py`na By`znes

Buks, 2006. – 453 s.

4. Tolenado J. A. Propos des Filieres Industrielles // Revue d'Economie Industrielle. – 1978. – Vol.6, №4. – P. 149-158 [in English].

5. Feldman V. P., Audretsch D. B. Innovation in Cities: Science based Diversity, Specialization and Localized Competition // European Economic Review. – 1999. – № 43. – P. 31 – 39 [in English].

6. Rozen V. P. Vy`kory`stannya metodu k-serednix klastertnogo analizu pid chas rozv'yazannya zadach energety`chnoyi bezpeky` tery`torij / V. P. Rozen, P. P. Ishhuk, L. V. Davy`denko/ [Elektronny`j resurs]. – Rezhy`m dostupu: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/7693/1/13.PDF>.

7. Tkachenko O. M. Metod klasterizatsiyi na osnovi poslidovnogo zapusku k-serednix z udoskonaleny`m vy`borom kandy`data na novu pozy`ciyu vstavky` / O. M. Tkachenko, O. F. Grijo Tukalo; O. V. Dzis`; S. M. Laxovecz`. // Naukovi praci VNTU, 2012, # 2. [Elektronny`j resurs]. – Rezhy`m dostupu: http://ot.vntu.edu.ua/content/articles/tkachenko/Naukovi%20praci%20VNTU_2012.pdf.

8. Potapenko V. G. Derzhavna polity`ka stalogo rozvy`tku na zasadax "zelenoyi ekonomiky`. / V.G. Potapenko/ Anality`chna dopovid` Nacional`nogo insty`tutu strategichny`x doslidzhen` [Elektronny`j resurs]. – Rezhy`m dostupu: [<http://www.niss.gov.ua/articles/1237/>].

9. ECOSMART: Ukrayini potribna koncepciya zelenoyi ekonomiky`. // [Elektronny`j resurs]. – Rezhy`m dostupu: <http://ecoclubua.com/2012/05/ecosmart-ukrajini-potribna-kontsepsiya-zelenoji-ekonomiky/>.

Рецензент: Войтко С.В., д.е.н., проф., зав. кафедри міжнародної економіки Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

3.11.2015