

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ ПО ОСНОВНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ ПОВСЕДНЕВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ И ПРОЯВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ ОПАСНОСТИ

В.В. Тютюник¹, Н.В. Бондарев², Р.И. Шевченко¹, Л.Ф. Черногор², В.Д. Калугин¹

¹Национальный университет гражданской защиты Украины, ул. Чернышевская, 94, Харьков 61023, Украина,
e-mail: tutunik_v@ukr.net

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, пл. Свободы, 4, Харьков 61022, Украина

В рамках предлагаемого энергетического подхода представлены результаты оценки методами кластерного анализа взаимосвязи между основными показателями жизнедеятельности природно-техногенно-социальной системы (ПТС системы) Украины в режиме повседневного функционирования и в условиях проявления чрезвычайных ситуаций техногенного происхождения. Приведены результаты кластеризации регионов Украины по основным переменным, определяющим условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, техногенная опасность, энергетический подход, кластерный анализ, комплексная система предупреждения чрезвычайных ситуаций.

Обоснование проблемы. Природно-техногенно-социальная (ПТС) система Украины как система с территориально-временным распределением источников опасности в процессе своего повседневного функционирования и развития создает предпосылки для возникновения различного рода чрезвычайных ситуаций (ЧС), разрушающая энергия которых негативно влияет на ее энергетический баланс, что приводит к нарушениям природно-экологических, экономико-технических и социально-политических условий повседневной жизнедеятельности [12, 17].

Режим повседневного функционирования ПТС системы определяется уровнем природно-техногенного энергетического баланса

$$E^{\text{ПТС}} = E^{\text{н}} + E^{\text{т}},$$

где $E^{\text{н}}$ – энергия природного происхождения; $E^{\text{т}}$ – энергия техногенного происхождения.

Техногенно-энергетические условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления в ней техногенной опасности представлены на рис. 1, где энергия $E^{\text{т}}$ является суммой энергий различных видов топлива ($E_{\text{т}}$) и электрической энергии ($E_{\text{э}}$), потребляемых ПТС системой: $E^{\text{т}} = E_{\text{т}} + E_{\text{э}}$.

В условиях проявления различного рода опасностей возникает необходимость разработки эффективных мероприятий по обеспечению раннего мониторинга, предотвращения и ликвидации ЧС разной природы, что и обусловило актуальность работы. Однако реализация такого подхода невозможна без проведения научных исследований, направленных на изучение процессов зарождения предшествующих факторов опасностей, их разви-

тия до уровня катастроф, распространения этих катастроф и их взаимного влияния (взаимной генерации) в условиях существования природно-техногенных, техногенно-техногенных и техногенно-природных взаимосвязей [6, 15].

Анализ последних достижений. Известные в научной литературе [1, 10, 13] методы оценки уровня опасности функционирования ПТС системы базируются на вероятностно-статистическом или экспертном анализе проявления отдельных составляющих опасностей и не учитывают физико-химические и медико-биологические основы процессов возникновения предшествующих факторов опасностей и количественные взаимосвязи между ними, которые приводят к развитию ЧС с соответствующим уровнем разрушительной энергии, негативно влияющей на условия обычного (повседневного) функционирования ПТС системы. Поэтому при решении проблемы формирования системы комплексных мероприятий для предотвращения ЧС различной природы возникает необходимость исследования энергетических особенностей проявления взаимосвязей между составляющими процессов жизнедеятельности ПТС системы в режимах повседневного функционирования и чрезвычайного состояния.

Первым шагом в данном направлении являются результаты разработки [2–4, 7, 8] подхода к оценке отдельных уровней пожарной, химической, экологической опасностей и опасности, которая возникает при территориальном распределении складов боеприпасов и предприятий по их утилизации, на территории ПТС системы на основе анализа ее интегрального показателя жизнедеятельности – энергии техногенного происхождения.



Рис. 1. Энергетические условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности

Следующий шаг при разработке научных основ создания комплексной системы мониторинга, предупреждения и ликвидации ЧС разной природы – проведение суммарной оценки уровня техногенной опасности территории ПТС системы на основе данных анализа взаимосвязей между основными показателями жизнедеятельности с помощью основных многомерных статистических методов анализа – факторного, главных компонент, кластерного, дискриминантного и канонического.

Цель исследования – развитие представлений о динамике и энергетике функционирования ПТС системы с разнесенными в пространстве и времени разного рода источниками опасностей и их дестабилизирующем влиянии на условия безопасности жизнедеятельности. Эти источники представляют собой обширную информационную базу для разработки научных основ создания эффективной территориальной комплексной системы мониторинга, предупреждения и ликвидации ЧС техногенного характера, а также обеспечения экологической безопасности [6, 14, 15].

Постановка задачи и ее решение. В рамках поставленной в работе цели исследования авторами на примере территории Украины предварительно проведена оценка уровня техногенной опасности ПТС системы по основным показателям жизнедеятельности методами факторного анализа и анализа главных компонент.

На основе факторного анализа выявлены скрытые (латентные) факторы, отвечающие за наличие линейных статистических связей между наблюдаемыми переменными, которые определяют

условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности. При объединении в каждом факторе переменных, сильно коррелирующих между собой, наблюдается эффект выделения показателя потребления энергии техногенного происхождения как группирующей переменной по основным показателям жизнедеятельности ПТС системы в режиме повседневного функционирования и в условиях проявления ЧС техногенного характера.

При анализе главных компонент, выполненном на основе данных матриц корреляции и ковариации, установлено наличие жесткой взаимосвязи между группирующей переменной (энергией техногенного происхождения) и основными социальными, экономическими и техногенными показателями функционирования ПТС системы.

Полученные результаты стали основой для проведения дальнейших научных исследований, направленных на классификацию и ранжирование территории по уровню опасности техногенного характера путем проведения кластерного анализа уровня техногенной опасности ПТС системы по данным оценки основных показателей ее жизнедеятельности. Анализ данных выполнен с использованием статистических пакетов STATISTICA 6.1 и SPSS 20.

Согласно [9], цель кластерного анализа заключается в нахождении групп подобных объектов в выборке данных, так называемых кластеров, которые характеризуются следующими основными свойствами: плотность, дисперсия, размер, форма и отделимость. Под плотностью подразуме-

меваются свойство, которое позволяет определить кластер как скопление точек в пространстве данных, относительно плотное по сравнению с другими областями пространства, содержащими малое количество точек либо не содержащими их вообще. Дисперсия характеризует степень рассеивания точек в пространстве относительно центра кластера. Размер кластера тесно связан с дисперсией. Форма кластера определяется положением точек в пространстве. При изображении кластеров в виде различных форм возникает необходимость определения “связанности” точек в кластере в виде относительной меры расстояния между ними. Меры расстояния обычно не ограничены сверху и зависят от выбора шкалы (масштаба) измерений. Отделимость характеризует степень перекрытия кластеров и их отдаленность друг от друга в пространстве.

При определении меры расстояния одним из наиболее известных расстояний является евклидово расстояние, определяемое как

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{z=1}^p (X_{iz} - X_{jz})^2}, \quad (1)$$

где d_{ij} – расстояние между объектами i и j ; X_{iz} – абсолютное значение z -й переменной для i -го объекта; X_{jz} – абсолютное значение z -й переменной для j -го объекта.

Однако при анализе меры расстояния оценка сходства сильно зависит от различий в сдвигах данных. В таком случае переменные, характеризующиеся большими абсолютными значениями и стандартными отклонениями, могут подавить влияние переменных, которые отличаются малыми абсолютными значениями и стандартными отклонениями. Поэтому для уменьшения указанного влияния в работе перед определением меры расстояния d_{ij} проведена стандартизация данных, основанная на нормализации переменных к единичной дисперсии и нулевому среднему:

$$X_{iz}^* = \frac{X_{iz} - M[X_i]}{\sigma_{X_i}}; \quad X_{jz}^* = \frac{X_{jz} - M[X_j]}{\sigma_{X_j}}, \quad (2)$$

где X_{iz}^* , X_{jz}^* – стандартизованные значения z -х переменных для i -го и j -го объектов; $M[X_i]$, $M[X_j]$ – математические ожидания, характерные для переменных i -го и j -го объектов; σ_{X_i} , σ_{X_j} – стандартные отклонения, характерные для переменных i -го и j -го объектов.

Известные методы кластерного анализа можно разделить на две группы – иерархические и неиерархические методы.

Суть иерархической кластеризации заключается в последовательном объединении меньших кластеров в большие (так называемые агломеративные методы) или в разделении больших клас-

теров на меньшие (так называемые дивизимные методы).

Использование метода Варда [9] как одного из широко используемых агломеративных методов при иерархической кластеризации основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности, а также при иерархической кластеризации регионов Украины в соответствии со значениями эти переменных позволило нам получить новые результаты.

Преимущество метода Варда состоит в том, что он отличается от всех других агломеративных методов, поскольку использует методы дисперсионного анализа для оценки расстояния между кластерами. Метод минимизирует сумму квадратов дисперсии для кластеров, которые могут быть сформированы на каждом шаге.

Результаты определения мер евклидовых расстояний между значениями переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности, представлены в табл. 1.

В качестве основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы Украины и проявления техногенной опасности, взяты: E^T – энергия техногенного происхождения; $S^{тер}$ – площадь территории; N^H – численность населения; N^p – количество рожденных; N^y – количество умерших; $S^{ВВП}$ – объем валового внутреннего продукта; K_c – количество субъектов реестра предпринимателей и организаций; $K_{ппо}$ – количество потенциально опасных объектов; $Q_{пвов}$ – объем использования пожаро- и взрывоопасных веществ; $Q_{хов}$ – объем использования химически опасных веществ; $Q_{атм}$ – объем выбросов экологически опасных веществ в атмосферу; $M_{вв}$ – масса взрывчатых веществ, подлежащая утилизации на военных объектах; N_t – количество больных активным туберкулезом; N_6 – количество безработных; $K_{чс}^{тех}$ – количество чрезвычайных ситуаций техногенного характера; $K^{пож}$ – количество пожаров и возгораний в техногенной среде; $K^{дтп}$ – количество дорожно-транспортных происшествий.

Процесс пошагового агломеративного объединения переменных в кластеры представлен на рис. 2.

Результат иерархической кластеризации (на основе результатов рис. 2) методом Варда основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности, показан на рис. 3.

Дендрограмма кластеризации основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности, свидетельствует о выде-

Таблица 1. Евклидовы расстояния между стандартизованными значениями переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы Украины и проявления техногенной опасности

	E^T	$S^{\text{тер}}$	N^H	N^P	N^Y	$S^{\text{ВВП}}$	K_c	$K_{\text{ПОО}}$	$Q_{\text{ПВОВ}}$	$Q_{\text{ХОВ}}$	$Q_{\text{атм}}$	$M_{\text{ВВ}}$	N_T	N_6	$K_{\text{ЧС}}^{\text{техн}}$	$K_{\text{пож}}$	$K_{\text{ДТП}}$
E^T	0	19,7	11,2	15,1	10,2	17,9	18,8	10,1	20,4	16,9	5,5	25,9	8,9	15,7	11,5	12,3	20,5
$S^{\text{тер}}$	19,7	0	17,6	18,9	16,6	19,5	18,8	17,5	22,8	18,2	20,5	19,2	16,4	20,3	19,2	17,1	20,7
N^H	11,2	17,6	0	6,5	3,8	12,4	10,2	8,7	18,1	16,8	12,5	23,8	7,6	16,5	13,9	7,4	16,9
N^P	15,1	18,9	6,5	0	8,2	9,3	8,1	11,9	18,1	17,6	15,3	23,4	11,5	20,4	17,3	9,1	14,9
N^Y	10,2	16,6	3,8	8,2	0	13,6	12,0	8,3	19,2	16,3	11,4	23,2	6,7	16,1	12,9	8,4	17,0
$S^{\text{ВВП}}$	17,9	19,5	12,4	9,3	13,6	0	8,1	15,5	17,5	20,0	17,8	24,2	16,5	23,7	20,4	11,0	11,4
K_c	18,8	18,8	10,2	8,1	12,0	8,1	0	15,7	15,9	20,5	19,7	23,2	15,6	21,6	19,7	11,3	13,9
$K_{\text{ПОО}}$	10,1	17,5	8,7	11,9	8,3	15,5	15,7	0	21,4	17,9	11,3	22,7	9,3	15,9	14,0	11,2	18,9
$Q_{\text{ПВОВ}}$	20,4	22,8	18,1	18,1	19,2	17,5	15,9	21,4	0	24,1	22,1	25,3	20,7	22,7	22,2	17,5	19,6
$Q_{\text{ХОВ}}$	16,9	18,2	16,8	17,6	16,3	20,0	20,5	17,9	24,1	0	16,2	25,1	14,8	20,4	18,7	17,4	22,0
$Q_{\text{атм}}$	5,5	20,5	12,5	15,3	11,4	17,8	19,7	11,3	22,1	16,2	0	26,5	9,7	17,5	13,1	12,9	20,6
$M_{\text{ВВ}}$	25,9	19,2	23,8	23,4	23,2	24,2	23,2	22,7	25,3	25,1	26,5	0	24,3	23,1	23,8	24,8	23,3
N_T	8,9	16,4	7,6	11,5	6,7	16,5	15,6	9,3	20,7	14,8	9,7	24,3	0	15,9	11,5	10,2	19,5
N_6	15,7	20,3	16,5	20,4	16,1	23,7	21,6	15,9	22,7	20,4	17,5	23,1	15,9	0	15,5	19,6	24,1
$K_{\text{ЧС}}^{\text{техн}}$	11,5	19,2	13,9	17,3	12,9	20,4	19,7	14,0	22,2	18,7	13,1	23,8	11,5	15,5	0	15,3	21,2
$K_{\text{пож}}$	12,3	17,1	7,4	9,1	8,4	11,0	11,3	11,2	17,5	17,4	12,9	24,8	10,2	19,6	15,3	0	15,8
$K_{\text{ДТП}}$	20,5	20,7	16,9	14,9	17,0	11,4	13,9	18,9	19,6	22,0	20,6	23,3	19,5	24,1	21,2	15,8	0

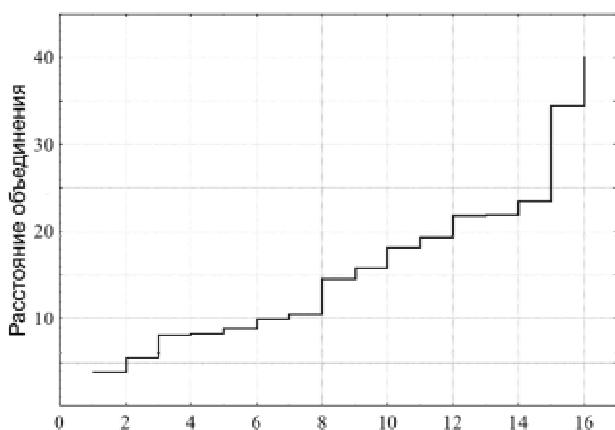


Рис. 2. Пошаговое объединение основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы Украины и проявления техногенной опасности, в кластеры

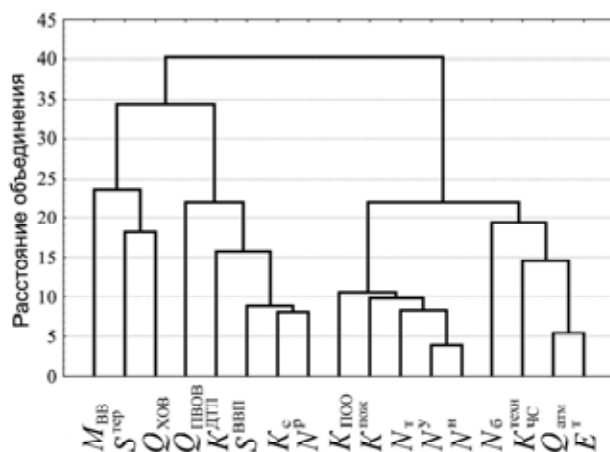


Рис. 3. Дендрограмма кластеризации основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы Украины и проявления техногенной опасности

лении, в зависимости от расстояния объединения (на уровне порядка 22–23 единиц евклидова расстояния), трех-четырех кластеров. Так, с энергией техногенного происхождения группируются следующие переменные: $Q_{\text{атм}}$; $K_{\text{ЧС}}^{\text{техн}}$; N_6 , с показателем численности населения – N^Y , N_T , $K_{\text{пож}}$, $K_{\text{ПОО}}$, с показателем валового внутреннего продукта – N^P , K_c , $K_{\text{ДТП}}$, $Q_{\text{ПВОВ}}$. Показатель $S^{\text{тер}}$ объединяет переменные $Q_{\text{ХОВ}}$ и $M_{\text{ВВ}}$.

Увеличение расстояния объединения до 35 единиц евклидова расстояния позволяет объединить первые две группы в один кластер и выделить в качестве группирующих переменных показатели E^T и $S^{\text{ВВП}}$. Предложенный прием

формирования кластеров согласуется с результатами предварительно проведенных ранее факторного анализа и анализа главных компонент.

Далее в работе методом Варда проведена аналогичная процедура агломеративной иерархической кластеризации наблюдений регионов Украины по рассмотренным ранее переменным. Анализ выборки включал, по данным [2–4, 7, 8, 11, 16], 275 наблюдений по территории 25 регионов Украины за период 2002–2012 гг. с шагом наблюдения один год. При этом исходные данные были представлены в виде таблицы 275×17, где 17 столбцов соответствуют 17 основным переменным, определяющим условия повседневного

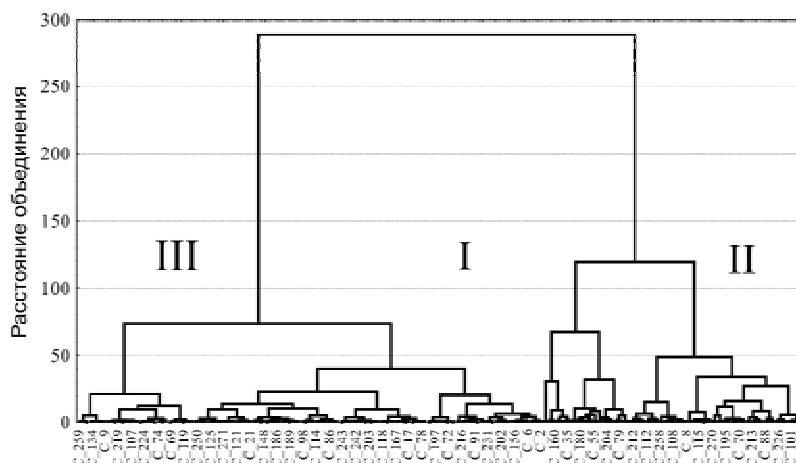


Рис. 4. Дендрограмма кластеризации территории Украины по значениям основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности в 25 регионах за период 2002–2012 гг. (на дендрограмме обозначены номера строк с шагом в 5 единиц); I–III – кластеры

функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности (табл. 1), а 275 строк соответствуют наблюдаемым значениям этих переменных в 25 регионах за 11 лет. Номер строки в таблице исходных данных определялся как: $C = m + 25n$, где $n = 0, 1, \dots, 10$ – шаг наблюдения, m – порядковый номер региона Украины: $m = 1$ – АР Крым; $m = 2$ – Винницкая обл.; $m = 3$ – Волынская обл.; $m = 4$ – Днепропетровская обл.; $m = 5$ – Донецкая обл.; $m = 6$ – Житомирская обл.; $m = 7$ – Закарпатская обл.; $m = 8$ – Запорожская обл.; $m = 9$ – Ивано-Франковская обл.; $m = 10$ – Киевская обл.; $m = 11$ – Кировоградская обл.; $m = 12$ – Луганская обл.; $m = 13$ – Львовская обл.; $m = 14$ – Николаевская обл.; $m = 15$ – Одесская обл.; $m = 16$ – Полтавская обл.; $m = 17$ – Ровенская обл.; $m = 18$ – Сумская обл.; $m = 19$ – Тернопольская обл.; $m = 20$ – Харьковская обл.; $m = 21$ – Херсонская обл.; $m = 22$ – Хмельницкая обл.; $m = 23$ – Черкасская обл.; $m = 24$ – Черновицкая обл.; $m = 25$ – Черниговская обл.

Результаты кластеризации территории Украины по 17 основным параметрам представлены на рис. 4.

Как видно, территория Украины делится на районы с различными уровнями потребления энергии техногенного происхождения социально-экономической жизнедеятельности и техногенной опасности. Комплексный анализ регионов по основным переменным (см. рис. 3), определяющим условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности, позволил на расстоянии 75 единиц евклидова расстояния ранжировать территорию Украины на три основных кластера.

К первому кластеру с высоким энерго-экономическим уровнем жизнедеятельности

$$(E_m^T \approx (0,10 \div 0,30)E_{Укр}^T,$$

где E_m^T и $E_{Укр}^T$ – энергии техногенного происхождения, потребляемые m -м регионом и Украиной;

$$S_m^{ВВП} \approx (0,10 \div 0,20)S_{Укр}^{ВВП},$$

где $S_m^{ВВП}$ и $S_{Укр}^{ВВП}$ – объемы валового внутреннего продукта m -го региона и Украины) и уровнем проявления техногенной опасности

$$(K_{ЧС_m}^{техн} \approx (0,10 \div 0,20)K_{ЧС_{Укр}}^{техн},$$

где $K_{ЧС_m}^{техн}$ и $K_{ЧС_{Укр}}^{техн}$ – количества ЧС техногенного характера, возникшие в m -м регионе и в Украине;

$$K_m^{пож} \approx (0,10 \div 0,15)K_{Укр}^{пож},$$

где $K_m^{пож}$ и $K_{Укр}^{пож}$ – количества пожаров и возгораний в техногенной среде, возникшие в m -м регионе и в Украине;

$$K_m^{ДТП} \approx (0,05 \div 0,10)K_{Укр}^{ДТП},$$

где $K_m^{ДТП}$ и $K_{Укр}^{ДТП}$ – количества дорожно-транспортных происшествий, возникшие в m -ом регионе и в Украине) относятся Днепропетровская, Донецкая и Киевская области.

Ко второму кластеру со средним энергоэкономическим уровнем жизнедеятельности

$$E_m^T \approx (0,05 \div 0,10)E_{Укр}^T; S_m^{ВВП} \approx (0,05 \div 0,10)S_{Укр}^{ВВП}$$

и уровнем проявления техногенной опасности

$$(K_{ЧС_m}^{тех} \approx (0,05 \div 0,10)K_{ЧС_{Укр}}^{тех}; K_m^{пож} \approx (0,05 \div 0,10)K_{Укр}^{пож};$$

$$K_m^{ДТП} \approx (0,03 \div 0,05)K_{Укр}^{ДТП})$$

относятся Запорожская, Луганская, Львовская, Одесская, Харьковская области и АР Крым.

Остальные регионы относятся к третьему кластеру.

Полученные результаты иерархической кластеризации по ранжированию территории Украины на три основных кластера были основой для разделения (с использованием неиерархических

Таблица 2. Результаты дисперсионного анализа k -средних значений основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности

Переменная	Изменчивость между кластерами	Степень свободы	Изменчивость внутри кластеров	Степень свободы	F-критерий	
					F	α
E^T	160	2	114	272	192	0,000
$S^{\text{тер}}$	67	2	207	272	44	0,000
N^H	249	2	25	272	1376	0,000
N^P	225	2	49	272	619	0,000
N^Y	242	2	32	272	1029	0,000
$S^{\text{ВВП}}$	148	2	126	272	159	0,000
K_c	173	2	101	272	234	0,000
$K_{\text{ППО}}$	191	2	83	272	315	0,000
$Q_{\text{ПВОВ}}$	35	2	239	272	20	0,000
$Q_{\text{ХОВ}}$	81	2	193	272	58	0,000
$Q_{\text{атм}}$	160	2	114	272	190	0,000
$M_{\text{ВВ}}$	42	2	232	272	24	0,000
N_T	211	2	63	272	453	0,000
N_6	56	2	218	272	35	0,000
$K_{\text{ЧС}}^{\text{техн}}$	101	2	173	272	80	0,000
$K^{\text{пож}}$	210	2	64	272	445	0,000
$K^{\text{ДТП}}$	60	2	214	272	38	0,000

методов) основных показателей повседневной жизнедеятельности и техногенной опасности на три территориальных уровня. Для этого использован алгоритм k -средних, идея которого заключается в том, что при заданном числе k кластеров наблюдения сопоставляются с кластерами так, что средние значения параметров в кластерах максимально возможно отличаются друг от друга.

Для обоснования приемлемости классификации по методу k -средних проведено сравнение изменчивости внутри кластеров с изменчивостью вне кластеров. При оценке сравнения изменчивостей внутри и вне кластеров использовался F -критерий Фишера [9].

Представленные в табл. 2 результаты свидетельствуют, что однозначная кластеризация по каждой из 17 переменных должна интерпретироваться с осторожностью, так как некоторым переменным присуща невысокая степень изменчивости между кластерами при большой степени изменчивости внутри кластера, что подтверждается небольшими значениями F -показателей критерия Фишера для этих переменных при высоком уровне значимости α .

С использованием данных табл. 2 в табл. 3 для каждого из трех кластеров приведены значения характеристик рассматриваемых в работе переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности.

Средние стандартизированные значения основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности по данным табл. 3, представлены для каждого из трех класте-

ров в графическом виде на рис. 5. Отметим, что данные каждой переменной согласуются со значениями F -показателей критерия Фишера, приведенными в табл. 2. Так, самыми высокими в выборке из 17 переменных значениями F -показателей ($F \approx 500 \div 1500$) характеризуются социальные переменные (N^H , N^Y и N^P), что свидетельствует о наличии больших расстояний по этим переменным между кластерами (рис. 5).

На меньшем, в соответствии с критерием Фишера ($F \approx 150 \div 500$), уровне кластеризации находятся переменные, определяющие основные энергетические, техногенные и экологические условия повседневного функционирования ПТС системы (E^T , $S^{\text{ВВП}}$, K_c , $K_{\text{ППО}}$, $Q_{\text{атм}}$, N_T), а также уровень пожарной безопасности в техногенной среде ($K^{\text{пож}}$).

Наименьшим уровнем кластеризации ($F < 150$) характеризуются переменные: $S^{\text{тер}}$, $Q_{\text{ПВОВ}}$, $Q_{\text{ХОВ}}$, $M_{\text{ВВ}}$, N_6 , $K_{\text{ЧС}}^{\text{техн}}$, $K^{\text{ДТП}}$. Эти переменные, в соответствии с рис. 5, уменьшают расстояние между кластерами. Кроме того, для переменных внутри кластеров отмечаются большие значения дисперсии, в связи с чем переменные могут вносить отрицательный вклад в получение однозначного результата относительно ранжирования территории Украины по уровню жизнедеятельности и проявлению техногенной опасности.

Таким образом, результаты кластерного анализа, полученные методом k -средних основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности, в очередной раз свидетельствуют (не исключая высокой степени кластеризации показателей N^H , N^Y и N^P) в пользу предлагаемого авторами энергетического подхода

Таблица 3. Математическое ожидание (M_X), стандартное отклонение (σ_X) и дисперсия (σ_X^2) стандартизированных значений основных переменных (X), определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности, рассчитанные для трех кластеров

Переменная (X)	I кластер			II кластер			III кластер		
	M_X	σ_X	σ_X^2	M_X	σ_X	σ_X^2	M_X	σ_X	σ_X^2
E^T	1,91	1,58	2,51	0,24	0,60	0,36	-0,46	0,22	0,05
$S^{тер}$	0,73	0,36	0,13	0,59	0,56	0,31	-0,38	1,03	1,06
N^H	2,28	0,54	0,29	0,43	0,37	0,13	-0,61	0,19	0,04
N^P	2,17	0,75	0,56	0,41	0,51	0,26	-0,58	0,28	0,08
N^Y	2,23	0,63	0,40	0,44	0,34	0,11	-0,61	0,26	0,07
$S^{ВВП}$	1,91	1,79	3,22	0,07	0,47	0,22	-0,39	0,22	0,05
K_c	2,00	1,69	2,87	0,21	0,29	0,09	-0,47	0,13	0,02
$K_{ПОО}$	1,86	0,85	0,73	0,53	0,78	0,61	-0,58	0,32	0,10
$Q_{ПВОВ}$	0,79	1,73	2,98	0,24	1,10	1,22	-0,25	0,59	0,35
$Q_{ХОВ}$	1,09	1,29	1,66	0,47	1,41	1,97	-0,40	0,14	0,02
$Q_{атм}$	2,02	1,73	3,00	-0,01	0,46	0,21	-0,39	0,15	0,02
$M_{ВВ}$	-0,66	0,27	0,08	0,60	1,24	1,54	-0,12	0,85	0,72
N_T	1,99	0,95	0,90	0,52	0,50	0,25	-0,60	0,32	0,10
N_6	1,00	1,32	1,74	0,30	0,98	0,97	-0,31	0,75	0,56
$K_{ЧС}^{техн}$	1,34	1,71	2,94	0,40	0,76	0,58	-0,42	0,48	0,23
$K^{пож}$	2,15	0,99	0,98	0,32	0,57	0,32	-0,54	0,25	0,06
$K^{ДТП}$	1,15	2,42	5,87	0,16	0,57	0,33	-0,29	0,15	0,02

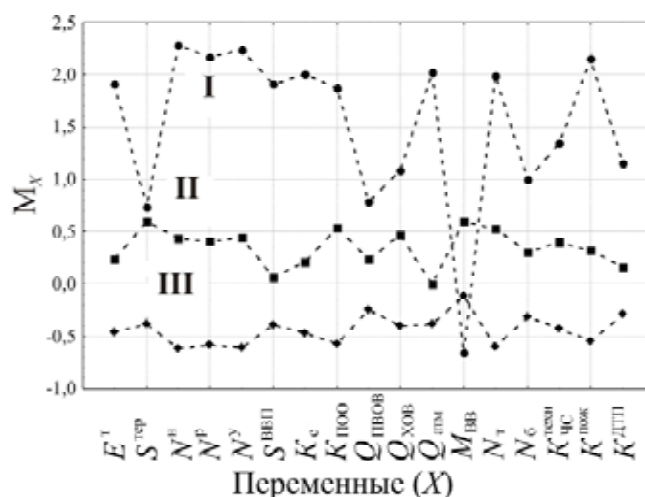


Рис. 5. Графики математических ожиданий (M_X) для каждого кластера стандартизированных значений основных переменных (X), определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности

(содержащего в качестве группирующей переменной показатель уровня потребления регионами энергии техногенного происхождения E^T) для оценки уровня жизнедеятельности ПТС системы в условиях повседневного функционирования и проявления различного рода опасностей.

Выводы.

1. Обоснована эффективность энергетического подхода для оценки уровня техногенной опасности территории по основным показателям жизнедеятельности, которые включают социальные, экономические и техногенные характеристики функционирования ПТС системы.
2. На основе иерархической кластеризации проведено ранжирование по величине взаимосвязей между показателями жизнедеятельности

ПТС системы Украины в режиме повседневного функционирования и в условиях проявления ЧС техногенного происхождения. Вследствие объединения в каждом кластере по методу Варда переменных установлены эффекты выделения показателей численности населения, потребления энергии техногенного происхождения и объема валового внутреннего продукта, как группирующих переменных по основным показателям жизнедеятельности ПТС системы в режиме повседневного функционирования и в условиях проявления ЧС техногенного характера.

3. На основе иерархической кластеризации проведено ранжирование регионов Украины по основным параметрам, определяющим условия

повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности. В результате объединения в каждом кластере по методу Варда значений этих переменных за период 2002–2012 гг. установлен эффект разделения территории на три кластера:

I кластер (с высоким энергоэкономическим уровнем жизнедеятельности и проявления техногенной опасности) – Днепропетровская, Донецкая и Киевская области;

II кластер (со средним энергоэкономическим уровнем жизнедеятельности и проявления техногенной опасности) – Запорожская, Луганская, Львовская, Одесская, Харьковская области и АР Крым;

III кластер (с низким энергоэкономическим уровнем жизнедеятельности и проявления техногенной опасности) – остальные регионы Украины.

4. На основе неиерархической кластеризации методом *k*-средних проведена оценка степени кластеризации основных переменных, определяющих условия повседневного функционирования ПТС системы и проявления техногенной опасности. Выделены три характерные для территории Украины группы переменных, которые характеризуются следующими уровнями кластеризации: а) высоким – численность населения; количество рожденных; количество умерших; б) средним – энергия техногенного происхождения; объем валового внутреннего продукта; количество субъектов реестра предпринимателей и организаций; количество потенциально опасных объектов; объем выбросов экологически опасных веществ в атмосферу; количество больных активным туберкулезом; количество пожаров и возгораний в техногенной среде; в) низким – площадь территории; объем использования пожаро- и взрывоопасных веществ; объем использования химически опасных веществ; масса взрывчатых веществ, подлежащая утилизации на военных объектах; количество безработных; количество чрезвычайных ситуаций техногенного характера; количество дорожно-транспортных происшествий.
5. Полученные результаты иерархической и неиерархической кластеризации представляют собой базу для развития научных основ создания эффективной территориальной комплексной системы мониторинга, предупреждения и ликвидации ЧС техногенного характера и обеспечения экологической безопасности [5, 14].
1. *Гражданкин А.И.* Использование вероятностных оценок при анализе безопасности опасных производственных объектов / А.И. Гражданкин, М.В. Лисанов, А.С. Печеркин // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 2. – С. 12–20.
2. *Калугин В.Д.* Оценка уровня химической опасности территории Украины на основе анализа энергетических показателей жизнедеятельности / В.Д. Калугин, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.И. Шевченко // Нафтогазова енергетика. – Ів.-Франківськ: Вид-во Івано-Франк. нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2013. – № 1(19). – С. 109–123.
3. *Калугин В.Д.* Оцінка рівня пожежної небезпеки території України на основі аналізу енергетичних показників стану життєдіяльності / В.Д. Калугін, В.В. Коврегін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Пожежна безпека: 36. наук. праць. – Львів: Вид-во Львів. держ. ун-ту безпеки життєдіяльності, 2013. – № 22. – С. 99–112.
4. *Калугин В.Д.* Оцінка сумарного впливу складових техногенного навантаження на загальний рівень небезпеки життєдіяльності території України / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // 36. наук. праць Харків. ун-ту Повітряних Сил. 2013. – Вип. 4 (37). – С. 189–197.
5. *Калугин В.Д.* Розробка науково-технічних основ для створення системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та забезпечення екологічної безпеки / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи обробки інформації: 36. наук. праць. Харків. ун-т Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – 2013. – Вип. 9 (116). – С. 204–216.
6. *Калугин В.Д.* Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европ. журн. перед. технологій. – 2012. – 1/6 (55). – С. 59–70.
7. *Калугин В.Д.* Енергетичний підхід до оцінки безпеки життєдіяльності природно-техногенно-соціальної системи України в умовах територіального розподілу складів боєприпасів і підприємств з їх утилізації / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: Вид-во Харків. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, 2013. – Вип. 4 (36). – С. 47–56.
8. *Калугин В.Д.* Енергетичний підхід до оцінки екологічного стану природно-техногенно-соціальної системи України в режимі повсякденного функціонування / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // 36. наук. праць Севастоп. нац. ун-ту ядер. енергетики та промисловості. – 2013. – Вип. 4 (48). – С. 196 – 208.
9. *Ким Дж.-О.* Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ. / Дж.-О. Ким, Ч.У. Мюллер, У.Р. Клекка, М.С. Олдендерфер, Р.К. Блэшфилд. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 215 с.
10. *Кондратьев В.Д.* Комплексная оценка уровня риска опасного объекта / В.Д. Кондратьев, А.В. Толстых, Б.К. Уандыков, А.В. Щепкин // Системи управління и информ. технологій. – 2004. – № 3 (15). – С. 53–57.
11. *Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні за 2004–2012 рр.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>
12. *Осипов В.И.* Природные опасности и стратегические риски в мире и в России / В.И. Осипов // Экология и жизнь. – 2009. – № 11–12 (96–97). – С. 5–15.

13. Питулько В.М. Научное обеспечение управлением риска аварий и катастроф / В.М. Питулько // Инж. экология. – 1996. – № 3. – С. 36–44.
14. Тютюник В.В. Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // 36. наук. праць Харків. ун-ту Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба. – 2008. – Вип. 3 (18). – С. 179–180.
15. Тютюник В.В. Системний підхід до оцінки небезпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: Вид-во Харків. ун-ту цивільного захисту України, 2011. – Вип. 14. – С. 171–194.
16. Україна у цифрах у 2011 році: Статистичний збірник / За ред. О.Г. Осауленка – К.: Держ. служба статистики України, 2012. – 250 с.
17. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Х.: Изд-во Харьк. нац. ун-та им. В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.

КЛАСТЕРНИЙ АНАЛІЗ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ЗА ОСНОВНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ПОВСЯКДЕННОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА ПРОЯВУ ТЕХНОГЕННОЇ НЕБЕЗПЕКИ

В.В. Тютюник¹, М.В. Бондарев², Р.І. Шевченко¹, Л.Ф. Черногор², В.Д. Калугін¹

¹Національний університет цивільного захисту України, вул. Чернишевська, 94, Харків 61023, Україна, e-mail: tutunik_v@ukr.net

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків 61022, Україна

У межах запропонованого енергетичного підходу розглянуто результати оцінки методами кластерного аналізу взаємозв'язків між основними показниками життєдіяльності природно-техногенно-соціальної системи (ПТС системи) України в режимі повсякденного функціонування та в умовах прояву надзвичайних ситуацій техногенного походження. Наведено результати кластеризації регіонів України за основними змінними, які визначають умови повсякденного функціонування ПТС системи та прояву техногенної небезпеки.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, техногенна небезпека, енергетичний підхід, кластерний аналіз, комплексна система запобігання надзвичайним ситуаціям.

THE CLUSTER ANALYSIS OF THE TERRITORY OF UKRAINE BY THE MAIN INDICATORS OF DAILY FUNCTIONING AND MANIFESTATION OF TECHNOGENIC DANGER

V.V. Tiutiunik¹, N.V. Bondarev², R.I. Shevchenko¹, L.F. Chernogor², V.D. Kalugin¹

¹National University of Civil Defence of Ukraine, Chernyshevsk Str., 94, Kharkiv 61023, Ukraine, e-mail: tutunik_v@ukr.net

²V.N. Karazin Kharkov National University, Svobody Sq., 4, Kharkiv 61022, Ukraine

Purpose. The purpose of the paper is to develop, within the suggested power approach, conceptions of dynamics and power functioning of the natural-technogenic-social system with dispersed in time and space any sources of dangers and their destabilizing effect on safety by daily functioning; to classify and range the territory of Ukraine by levels of daily functioning and technogenic danger manifestation.

Design/methodology/approach. We used methods of cluster analysis to carry out research on classification and ranging of the territory of Ukraine by levels of danger of a technogenic origin based to an assessment of the main indicators of the country's activity and various manifestations of technogenic dangers – emergency situations of a technogenic origin; on fires in technogenic and social environment; on road accidents. The data analysis was carried out using statistical STATISTICA 6.1 and SPSS 20 packages.

Findings. On the basis of a hierarchical clustering, we carried out: a) ranging by quantity of interrelations between indicators of the activity of the natural-technogenic-social system of Ukraine in a mode of daily functioning and in the conditions of emergency situations of a technogenic origin; b) ranging of regions of Ukraine by key parameters defining conditions of daily functioning of the natural – technogenic – social system and manifestation of technogenic danger. On the basis of non-hierarchical clustering by the method of *k*-averages we carried out an assessment of the degree of clustering of the main variables defining conditions of daily functioning of the natural – technogenic and social system and manifestation of technogenic danger.

Practical value/implications. The obtained results of hierarchical and non-hierarchical clustering offer scientific foundation for further development of an effective territorial complex system of monitoring, prevention and elimination of emergency situations of a technogenic origin and ensuring ecological safety in Ukraine.

Keywords: emergency situation, technogenic danger, power approach, cluster analysis, complex system of monitoring, prevention and elimination of emergency situations.

Referenses:

1. Grazhdankin A.I., Lisanov M.V., Pecherkin A.S. *Ispol'zovanie veroyatnostnykh otsenok pri analize bezopasnosti opasnykh proizvodstvennykh ob'ektov* [Use of probabilistic estimates in the analysis of safety of dangerous production objects]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Safety of work in the industry], 2002, no. 2, pp. 12-20.
2. Kalugin V.D., Tyutyunik V.V., Chernogor L.F., Shevchenko R.I. *Otsenka urovnya khimicheskoy opasnosti territorii Ukrainy na osnove analiza energeticheskikh pokazateley zhiznedeyatel'nosti* [Estimation of level of chemical danger territories of Ukraine on the basis of the analysis power parameters of activity]. *Naftogazova energetika* [Oil and energy]. Ivano-Frankivsk, *Vydavnytstvo Ivano-Frankivs'koho natsional'noho tekhnichnoho universytetu nafty i hazu*, 2013, no. 1 (19), pp. 109-123.
3. Kaluhin V.D., Kovrehin V.V., Tyutyunik V.V., Chornohor L.F., Shevchenko R.I. *Otsinka rivnya pozhezhnoyi nebezpeky terytoriyi Ukrainy na osnovi analizu enerhetychnykh pokaznykiv stanu zhyttyediyal'nosti* [Assessment of level of fire danger of the Ukraine territory on the basis of the analysis of power indicators of the condition activity]. *Trudy "Pozhezhna bezpeka"*. Lviv, *Vydavnytstvo L'vivs'koho derzhavnogo universytetu bezpeky zhyttyediyal'nosti*, 2013, no. 22, pp. 99-112.
4. Kaluhin V.D., Tyutyunik V.V., Chornohor L.F., Shevchenko R.I. *Otsinka sumarnoho vplyvu skladovykh tekhnohennoho navantazhennya na zahal'nyy riven' nebezpeky zhyttyediyal'nosti terytoriyi Ukrainy* [Estimate of the total exposure of anthropogenic impact on the overall level of risk life in Ukraine]. *Trudy "Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh Syl"*. Kharkiv, *Vydavnytstvo Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh Syl*, 2013, no. 4 (37), pp. 189-197.
5. Kaluhin V.D., Tyutyunik V.V., Chornohor L.F., Shevchenko R.I. *Rozrobka naukovo-tekhnichnykh osnov dlya stvorenniya systemy monitorynhu, poperedzhennya ta likvidatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy pryrodnoho ta tekhnohennoho kharakteru ta zabezpechennya ekolohichnoyi bezpeky* [Development of scientific and technical basis for establishment of monitoring, prevention and liquidation of emergency situations of natural and man-made nature, and also ensuring of environmental of ecological security]. *Trudy "Systemy obrobky informatsiyi"*. Kharkiv, *Vydavnytstvo Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh syl imeni Ivana Kozheduba*, 2013, no. 9 (116), pp. 204-216.
6. Kaluhin V.D., Tyutyunik V.V., Chornohor L.F., Shevchenko R.I. *Systemnyy pidkhid do otsinky ryzykiv nadzvychaynykh sytuatsiy v Ukraini* [The system approach for the estimation of risks emergency situations in Ukraine]. *Vostochno-Evropeyskiy zhurnalпередovykh tekhnologiy* [Eastern-European Journal of Enterprise Technologies], 2012, no. 1/6 (55), pp. 59-70.
7. Kaluhin V.D., Tyutyunik V.V., Chornohor L.F., Shevchenko R.I. *Enerhetychnyy pidkhid do otsinky nebezpeky zhyttyediyal'nosti pryrodno-tekhnohennoho-sotsial'noyi systemy Ukrainy v umovakh terytorial'noho rozpodilu skladiv boyeprypasiv i pidpryyemstv z yikh utylizatsiyi* [Energy approach for risk assessment of natural and social technogenic life system in Ukraine with the regional distribution warehouse of ammunition and enterprises for utilization of ammunition]. *Systemy ozbroynennya i viys'kova tekhnika*. Kharkiv, *Vydavnytstvo Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh Syl imeni Ivana Kozheduba*, 2013, no. 4 (36), pp. 47-56.
8. Kaluhin V.D., Tyutyunik V.V., Chornohor L.F., Shevchenko R.I. *Enerhetychnyy pidkhid do otsinky ekolohichnoho stanu pryrodno-tekhnohennoho-sotsial'noyi systemy Ukrainy v rezhymi povsyakdennoho funktsionuvannya* [Power approach for the assessment of the ecological condition natural and technogenic and social system of Ukraine in the mode of daily functioning]. *Trudy "Zbirnyk naukovykh prats' Sevastopol's'koho natsional'noho universytetu yadernoyi enerhetyky ta promyslovosti"* [Proc. "Collected works of Sevastopol national university of nuclear power and industry"]. Sevastopol, *Sevastopol's'kyy natsional'nyy universytet yadernoyi enerhetyky ta promyslovosti*, 2013, no. 4 (48), pp. 196-208.
9. Kim Dzh.-O., Myuller Ch.U., Klekka U.R., Oldenderfer M.S., Bleshfil'd R.K. *Faktornyy, diskriminantnyy i klasternyy analiz* [Factorial, discriminant and cluster analysis]. Moscow, *Finansy i statistika*, 1989, 215 p.
10. Kondrat'ev V.D., Tolstykh A.V., Uandykov B.K., Shchepkin A.V. *Kompleksnaya otsenka urovnya riska opasnogo ob'ekta* [Complex assessment of a risk level of dangerous object]. *Sistemy upravleniya i informatsionnykh tekhnologiy* [Control system and information technologies], 2004, no. 3 (15), pp. 53-57.
11. *Natsional'na dopovid' pro stan tekhnohennoyi ta pryrodnoyi bezpeky v Ukraini za 2004-2012 rr.* [The national report on a condition of technogenic and natural safety in Ukraine in 2004-2012]. Available at: <http://www.mns.gov.ua>
12. Osipov V.I. *Prirodnye opasnosti i strategicheskie riski v mire i v Rossii* [Natural dangers and strategic risks in the world and in Russia]. *Ekologiya i zhizn'* [Ecology and life], 2009, no. 11-12 (96-97), pp. 5-15.
13. Pitul'ko V.M. *Nauchnoe obespechenie upravleniem riska avari i katastrof* [Scientific providing with management of risk of accidents]. *Inzhenernaya ekologiya* [Engineering ecology], 1996, no. 3, pp. 36-44.
14. Tyutyunik V.V., Shevchenko R.I. *Osnovni pryntsyipy intehral'noyi systemy bezpeky pry nadzvychaynykh sytuatsiyakh* [The basic principles of integrated system of safety at emergency situations]. *Trudy "Zbirnyk naukovykh prats' Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh Syl"*. Kharkiv, *Vydavnytstvo Kharkivs'koho universytetu Povitryanykh syl imeni Ivana Kozheduba*, 2008, no. 3 (18), pp. 179 - 180.
15. Tyutyunik V.V., Chornohor L.F., Kaluhin V.D. *Systemnyy pidkhid do otsinky nebezpeky zhyttyediyal'nosti pry terytorial'no-chasovomu rozpodili enerhiyi dzherel nadzvychaynykh sytuatsiy* [System approach to an assessment of danger of activity at territorial and time distribution of energiya of sources of emergency situations]. *Trudy "Problemy nadzvychaynykh sytuatsiy"*. Kharkiv, *Vydavnytstvo Kharkivs'koho universytetu tsyvil'noho zakhystu Ukrainy*, 2011, no. 14, pp. 171-194.
16. *Statystychnyy zbirnyk "Ukrayina u tsyfrakh u 2011 rotsi"* [The statistical collected "Ukraine in figures in 2011"]. Za redakciyeyu O.G.Osaulenka. Kyiv, *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy*, 2012, 250 p.
17. Chernogor L.F. *Fizika i ekologiya katastrof* [Physics and ecology of accidents]. Kharkov, *Yzdatel'stvo Khar'kovskoho natsional'noho unyversyteta ymeny V.N. Karazyna*, 2012, 556 p.

Поступила в редакцию 29.04.2014 г.

Received 29/04/2014