
ЦИВІЛЬНА ОБОРОНА

УДК 351.861

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННО-СОЦІАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УКРАЇНИ В РЕЖИМІ ПОВСЯКДЕННОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ

В.Д. Калугін¹, д.х.н., проф., В.В. Тютюник¹, к.т.н., с.н.с.,
Л.Ф. Черногор², д.ф.-м.н., проф., Р.І. Шевченко¹, к.т.н., с.н.с.

¹Національний університет цивільного захисту України
²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

У роботі представлено основи енергетичного підходу до оцінки небезпеки життєдіяльності в умовах екологічної нестабільності, які необхідні для розробки ефективної комплексної системи попередження надзвичайних ситуацій (НС) в Україні.

Вступ

Обґрунтування проблеми. Широкий спектр проблем [1, 2], що виникають в сучасних умовах існування, розвитку та взаємодії природного, техногенного та соціального середовища при розв'язанні питань по забезпеченню умов життєдіяльності в Україні відповідному рівню безпеки, вказує на необхідність розробки ефективних заходів раннього моніторингу, попередження та ліквідації небезпек різної природи [3 – 6].

Одним з актуальних напрямків при розробці ефективної системи виявлення небезпечних чинників на етапі їх зародження та впливу на них з метою недопущення виникнення надзвичайних ситуацій є напрямок забезпечення стану стабільного функціонування природно-техногенно-соціальної системи (ПТС системи) України в умовах прояву екологічної нестабільності.

Роботи у вказаному напрямку включають запланований комплекс наукових досліджень, спрямованих на розповсюдження енергетичного підходу для дослідження екологічного стану ПТС системи України в режимах повсякденного функціонування і надзвичайної ситуації.

Аналіз останніх досліджень. Відомі в науковій літературі [7 – 10] основні підходи до оцінки ризику небезпеки ПТС системи в умовах функціонування різних потенційно-небезпечних об'єктів (ПНО) базуються на двох підходах: ймовірно-статистичному й експертному аналізах і не враховують фізико-хімічні основи процесів, що протікають при виникненні попередніх факторів небезпек, розвитку НС та їх енергетику. Тому, вказані в [7 – 10] підходи виконують функцію декларативності небезпек за рівнем їх можливого руйнівного впливу на стан нормального функціонування ПТС системи.

При розв'язанні проблеми формування системи комплексних заходів для попередження НС різної природи виникає необхідність дослідження особливостей процесів зародження та виникнення НС і їх взаємного впливу в умовах територіально-часового розподілу джерел небезпек [11 – 13].

Необхідність проведення відповідних досліджень оцінки екологічного ризику на основі досліджень кінетики й енергетики територіально рознесених по поверхні земної кулі джерел небезпек є основою для формулювання мети роботи.

Мета наукової роботи

Метою даної роботи є розвиток уявлень про кінетику й енергетику процесів функціонування ПТС системи України з рознесеними у просторі і часі властивостями джерел небезпек та їх розповсюдження до оцінки екологічного стану системи в режимі повсякденного функціонування.

Постановка задачі та її розв'язання

Для реалізації поставленої мети дослідження необхідно скласти функціональну схему енергетичного підходу, яку проілюстровано на рис. 1.

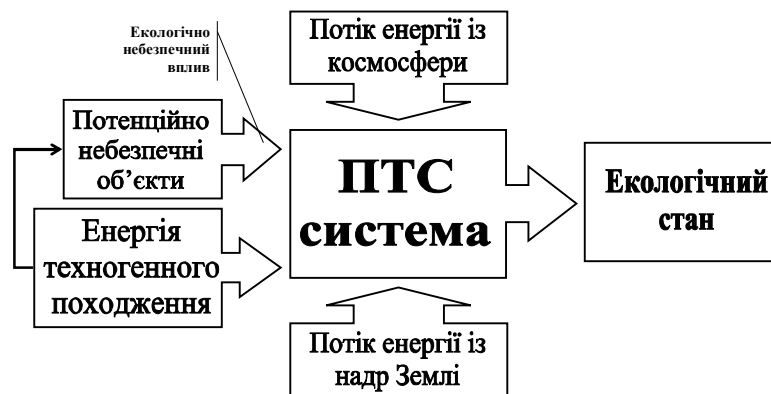


Рис. 1. Функціональна схема енергетичних процесів, що впливають на екологічний стан природно-техногенно-соціальної системи

Зі схеми слідує, що результатом функціонування ПТС системи в умовах енергетичної рівноваги є сума енергій природного і техногенного походження [14]:

$$E^{\text{ПТС}}(S^{\text{Укр.}}, T) = E^{\text{П}}(S^{\text{Укр.}}, T) + E^{\text{Т}}(S^{\text{Укр.}}, T), \quad (1)$$

де $E^{\text{П}}(S^{\text{Укр.}}, T)$ – усереднена по території України ($S^{\text{Укр.}}$) та часу (T) величина енергії природного характеру;

$E^{\text{Т}}(S^{\text{Укр.}}, T)$ – усереднена по території України та часу величина енергії техногенного характеру.

Сума потоків енергій космічного ($E_{\text{К}}(S^{\text{Укр.}}, T)$) та внутрішньо-земного походження ($E_{\text{ВЗ}}(S^{\text{Укр.}}, T)$) формує величину енергії природного характеру, яка забезпечує протікання біоциклів різних по рівням систем життєзабезпечення:

$$E^{\text{П}}(S^{\text{Укр.}}, T) = E_{\text{К}}(S^{\text{Укр.}}, T) + E_{\text{ВЗ}}(S^{\text{Укр.}}, T). \quad (2)$$

Величина енергії $E_{\text{К}}(S^{\text{Укр.}}, T)$ має вигляд

$$E_{\text{К}}(S^{\text{Укр.}}, T) = P_{\text{К}} \cdot T, \quad (3)$$

де $P_{\text{К}} = \Pi_{\text{К}} \cdot S^{\text{Укр.}}$ – потік енергії від джерела «Космосфера»;

$\Pi_{\text{К}}$ – густина потоку енергії із космосфери.

Результати розрахунків $E_K(S^{Y_{кр.}}, T)$ представлено у табл. 1.

Т а б л и ц я 1

Енергетичні показники космосфери, що впливає на земну кулю і територію України

Джерело	$P_K, \text{Вт/м}^2$	Земна куля			Територія України		
		$S, \text{м}^2$	$P_K, \text{Вт}$	$\bar{E}_K, \text{Дж}$	$S, \text{м}^2$	$P_K, \text{Вт}$	$\bar{E}_K, \text{Дж}$
Оптичне випромінювання Сонця	$1,4 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^{14*}$	$1,7 \cdot 10^{17}$	$1,7 \cdot 10^{22}$	$6 \cdot 10^{11****}$	$8,4 \cdot 10^{14}$	$8,4 \cdot 10^{19}$
Сонячний вітер	$6 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{16**}$	$7,8 \cdot 10^{11}$	$7,8 \cdot 10^{16}$	$6 \cdot 10^{11****}$	$3,6 \cdot 10^9$	$3,6 \cdot 10^{14}$
Галактичні промені	10^{-6}	$5 \cdot 10^{14***}$	$5 \cdot 10^8$	$5 \cdot 10^{13}$	$6 \cdot 10^{11****}$	$6 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^{10}$
Потік метеорів	$5 \cdot 10^{-7}$	$5 \cdot 10^{14***}$	$2,5 \cdot 10^8$	$2,5 \cdot 10^{13}$	$6 \cdot 10^{11****}$	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^{10}$

Тут і далі оцінки енергії виконано для інтервалу часу T в одну добу (близько 10^5 с) – $E_K(S^{Y_{кр.}}, T = 10^5 \text{ с}) = \bar{E}_K$.

Таким чином, величиною енергії космічного походження, що впливає на територію України протягом доби, є

$$\bar{E}_K = 8,4 \cdot 10^{19} + 3,6 \cdot 10^{14} + 6 \cdot 10^{10} + 3 \cdot 10^{10} \approx 8,4 \cdot 10^{19} \text{ Дж.} \quad (4)$$

Величиною енергії $E_{B3}(S^{Y_{кр.}}, T)$ є

$$E_{B3}(S^{Y_{кр.}}, T) = P_{B3} \cdot T, \quad (5)$$

де $P_{B3} = P_{B3} \cdot S^{Y_{кр.}}$ – потік енергії від джерела «Надра Землі»;

P_{B3} – густина потоку енергії із надр Землі.

Результат розрахунку $E_{B3}(S^{Y_{кр.}}, T = 10^5 \text{ с}) = \bar{E}_{B3}$ представлено у табл. 2.

Т а б л и ц я 2

Енергетичні показники джерел внутрішньо-земного походження, що впливає на земну кулю і територію України

Джерело	$P_K, \text{Вт/м}^2$	Земна куля			Територія України		
		$S, \text{м}^2$	$P_K, \text{Вт}$	$\bar{E}_{B3}, \text{Дж}$	$S, \text{м}^2$	$P_K, \text{Вт}$	$\bar{E}_{B3}, \text{Дж}$
Потік тепла із надр Землі	$2,5 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{14***}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{19}$	$6 \cdot 10^{11****}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{16}$

Примітки до табл. 1 та 2:

* $S_3 \approx 1,2 \cdot 10^{14} \text{ м}^2$ – площа перетину земної кулі;

** $S_{CB} \approx 1,3 \cdot 10^{16} \text{ м}^2$ – ефективна площа дії сонячного вітру, де $R_{CB} = 10R_3 \approx 6,4 \cdot 10^7 \text{ м}$ та $R_3 \approx 6,4 \cdot 10^6 \text{ м}$;

*** $S_{ПЗ} \approx 5 \cdot 10^{14} \text{ м}^2$ – площа поверхні Землі;

**** $S_{Укр.} \approx 6 \cdot 10^{11} \text{ м}^2$ – площа території України.

Таким чином, величина енергії природного походження за рівнянням (2) за тривалість часу життєдіяльності $T = 10^5 \text{ с}$ (протягом доби – $E^{\Pi}(S^{Y_{кр.}}, T = 10^5 \text{ с}) = \bar{E}^{\Pi}$) є

$$\bar{E}^{\Pi} = \bar{E}_K + \bar{E}_{B3} = 8,4 \cdot 10^{19} + 1,5 \cdot 10^{16} \approx 8,4 \cdot 10^{19} \text{ Дж.} \quad (6)$$

Основними складовими енергії техногенного походження є енергія основних видів палив, що використовуються в Україні, та з електричної енергії, що вироблена в державі і отримана із-за кордону. Тому, величина $E^T(S^{Y_{кр.}}, T)$ має вигляд

$$E^T(S^{Y_{кр.}}, T) = E_{\Pi}(S^{Y_{кр.}}, T) + E_E(S^{Y_{кр.}}, T), \quad (7)$$

де $E_{\Pi}(S^{Y_{кр.}}, T)$ – енергія палива;

$E_E(S^{Y_{кр.}}, T)$ – електрична енергія, яку вироблено на гідро, теплових і атомних станціях та іншими способами.

Енергія загального об'єму різного роду палива, що використано протягом року в державі, за даними, які оприлюднені Державним комітетом статистики України [15], представлено в табл. 3. Усі види палива перераховано з натуральних значень в умовні значення за вугільним еквівалентом ($7000 \text{ ккал/кг} \approx 29,3 \text{ МДж/кг}$).

Т а б л и ц я 3

Об'єм (в тонах умовного палива) та енергія використаного протягом року палива (E_{Π}) в Україні [15]

Регіон, область	2009 рік	2010 рік	Середній об'єм	Енергія E_{Π} , Дж
АР Крим	2752845	2991586	2872215,5	$8,42 \cdot 10^{16}$
Вінницька	3523690	3541155	3532422,5	$1,04 \cdot 10^{17}$
Волинська	1218287	1337862	1278074,5	$3,74 \cdot 10^{16}$
Дніпропетровська	23439440	25573391	24506415,5	$7,18 \cdot 10^{17}$
Донецька	40616596	44827345	42721970,5	$1,25 \cdot 10^{18}$
Житомирська	1538496	1630951	1584723,5	$4,64 \cdot 10^{16}$
Закарпатська	1461338	1302396	1381867	$4,05 \cdot 10^{16}$
Запорізька	8596398	9138736	8867567	$2,60 \cdot 10^{17}$
Івано-Франківська	5600038	5171550	5385794	$1,58 \cdot 10^{17}$
Київська	10957692	12621530	11789611	$3,45 \cdot 10^{17}$
Кіровоградська	1169452	1209690	1189571	$3,49 \cdot 10^{16}$
Луганська	21343882	20846431	21095156,5	$6,18 \cdot 10^{17}$
Львівська	5204824	5149382	5177103	$1,52 \cdot 10^{17}$
Миколаївська	1959234	2086077	2022655,5	$5,93 \cdot 10^{16}$
Одеська	6487166	6387987	6437576,5	$1,89 \cdot 10^{17}$
Полтавська	9116751	9481605	9299178	$2,72 \cdot 10^{17}$
Рівненська	1635854	2403147	2019500,5	$5,92 \cdot 10^{16}$
Сумська	2210151	2036592	2123371,5	$6,22 \cdot 10^{16}$
Тернопільська	1269316	1325983	1297649,5	$3,80 \cdot 10^{16}$
Харківська	7894425	8388092	8141258,5	$2,39 \cdot 10^{17}$
Херсонська	1169947	1159563	1164755	$3,41 \cdot 10^{16}$
Хмельницька	1832376	1904497	1868436,5	$5,47 \cdot 10^{16}$
Черкаська	3406414	3856273	3631343,5	$1,06 \cdot 10^{17}$
Чернівецька	847608	936736	892172	$2,61 \cdot 10^{16}$
Чернігівська	2159552	2102899	2131225,5	$6,24 \cdot 10^{16}$
Україна	167411772	177411456	172411614	$5,05 \cdot 10^{18}$

Кількість електричної енергії виробленої в Україні за даними [15] представлено в табл. 4.

Кількість електричної енергії (E_E), яку вироблено протягом року в Україні [15]

Регіон, область	Кількість електроенергії, кВт·год			Середнє значення E_E	
	2006 рік	2007 рік	2008 рік	кВт·год	Дж
АР Крим	$692 \cdot 10^6$	$772 \cdot 10^6$	$821 \cdot 10^6$	$762 \cdot 10^6$	$2,74 \cdot 10^{15}$
Вінницька	$4551 \cdot 10^6$	$4527 \cdot 10^6$	$4204 \cdot 10^6$	$4427 \cdot 10^6$	$1,59 \cdot 10^{16}$
Волинська	$116 \cdot 10^6$	$110 \cdot 10^6$	$91 \cdot 10^6$	$107 \cdot 10^6$	$3,80 \cdot 10^{14}$
Дніпропетровська	$13262 \cdot 10^6$	$12851 \cdot 10^6$	$12833 \cdot 10^6$	$12982 \cdot 10^6$	$4,67 \cdot 10^{16}$
Донецька	$25765 \cdot 10^6$	$28269 \cdot 10^6$	$26631 \cdot 10^6$	$26888 \cdot 10^6$	$9,68 \cdot 10^{16}$
Житомирська	$33 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$	$21 \cdot 10^6$	$7,44 \cdot 10^{13}$
Закарпатська	$131 \cdot 10^6$	$147 \cdot 10^6$	$158 \cdot 10^6$	$145 \cdot 10^6$	$5,23 \cdot 10^{14}$
Запорізька	$51295 \cdot 10^6$	$53512 \cdot 10^6$	$50899 \cdot 10^6$	$51902 \cdot 10^6$	$1,87 \cdot 10^{17}$
Івано-Франківська	$9465 \cdot 10^6$	$9242 \cdot 10^6$	$9216 \cdot 10^6$	$9308 \cdot 10^6$	$3,35 \cdot 10^{16}$
Київська	$12002 \cdot 10^6$	$11391 \cdot 10^6$	$11485 \cdot 10^6$	$11626 \cdot 10^6$	$4,19 \cdot 10^{16}$
Кіровоградська	$1859 \cdot 10^6$	$1463 \cdot 10^6$	$1565 \cdot 10^6$	$1629 \cdot 10^6$	$5,86 \cdot 10^{15}$
Луганська	$6399 \cdot 10^6$	$7149 \cdot 10^6$	$7193 \cdot 10^6$	$6914 \cdot 10^6$	$2,49 \cdot 10^{16}$
Львівська	$2323 \cdot 10^6$	$2196 \cdot 10^6$	$2292 \cdot 10^6$	$2270 \cdot 10^6$	$8,17 \cdot 10^{15}$
Миколаївська	$18215 \cdot 10^6$	$18281 \cdot 10^6$	$19762 \cdot 10^6$	$18753 \cdot 10^6$	$6,75 \cdot 10^{16}$
Одеська	$130 \cdot 10^6$	$113 \cdot 10^6$	$87 \cdot 10^6$	$110 \cdot 10^6$	$3,96 \cdot 10^{14}$
Полтавська	$1413 \cdot 10^6$	$1402 \cdot 10^6$	$1301 \cdot 10^6$	$1372 \cdot 10^6$	$4,94 \cdot 10^{15}$
Рівненська	$15962 \cdot 10^6$	$16419 \cdot 10^6$	$17267 \cdot 10^6$	$16549 \cdot 10^6$	$5,96 \cdot 10^{16}$
Сумська	$429 \cdot 10^6$	$450 \cdot 10^6$	$420 \cdot 10^6$	$433 \cdot 10^6$	$1,56 \cdot 10^{15}$
Тернопільська	$105 \cdot 10^6$	$82 \cdot 10^6$	$77 \cdot 10^6$	$88 \cdot 10^6$	$3,17 \cdot 10^{14}$
Харківська	$9088 \cdot 10^6$	$8137 \cdot 10^6$	$8398 \cdot 10^6$	$8541 \cdot 10^6$	$3,07 \cdot 10^{16}$
Херсонська	$1896 \cdot 10^6$	$1382 \cdot 10^6$	$1524 \cdot 10^6$	$1601 \cdot 10^6$	$5,76 \cdot 10^{15}$
Хмельницька	$14672 \cdot 10^6$	$14921 \cdot 10^6$	$12167 \cdot 10^6$	$13920 \cdot 10^6$	$5,01 \cdot 10^{16}$
Черкаська	$1566 \cdot 10^6$	$1400 \cdot 10^6$	$1624 \cdot 10^6$	$1530 \cdot 10^6$	$5,51 \cdot 10^{15}$
Чернівецька	$1174 \cdot 10^6$	$869 \cdot 10^6$	$1348 \cdot 10^6$	$1130 \cdot 10^6$	$4,07 \cdot 10^{15}$
Чернігівська	$840 \cdot 10^6$	$1148 \cdot 10^6$	$1215 \cdot 10^6$	$1068 \cdot 10^6$	$3,84 \cdot 10^{15}$
Вироблено в Україні	$193381 \cdot 10^6$	$196251 \cdot 10^6$	$192586 \cdot 10^6$	$194073 \cdot 10^6$	$6,99 \cdot 10^{17}$
Одержано із-за кордону	$2083 \cdot 10^6$	$3382 \cdot 10^6$	$2101 \cdot 10^6$	$2522 \cdot 10^6$	$9,08 \cdot 10^{15}$
Усього	$195464 \cdot 10^6$	$199633 \cdot 10^6$	$194687 \cdot 10^6$	$196595 \cdot 10^6$	$7,08 \cdot 10^{17}$

Таким чином, загальна величина енергії техногенного походження в державі за рівнянням (7) за тривалість часу життєдіяльності $T = 10^5$ с ($E^T(S^{укр.}, T = 10^5 \text{ с}) = \bar{E}^T$) дорівнює

$$\bar{E}^T = \bar{E}_П + \bar{E}_E = 1,4 \cdot 10^{16} + 1,9 \cdot 10^{15} \approx 1,6 \cdot 10^{16} \text{ Дж.} \quad (8)$$

Тоді середній рівень енергії нормального функціонування ПТС системи України за рівнянням (1) протягом доби ($E^{ПТС}(S^{укр.}, T = 10^5 \text{ с}) = \bar{E}^{ПТС}$) становить

$$\bar{E}^{ПТС} = \bar{E}^П + \bar{E}^T = 8,4 \cdot 10^{19} + 1,6 \cdot 10^{16} \approx 8,4 \cdot 10^{19} \text{ Дж.} \quad (9)$$

Протилежною складовою функціонування ПТС системи в умовах енергетичного балансу є небезпечний вплив на природне середовище результатів функціонування техногенних об'єктів (рис. 1), як результат діяльності соціуму. У залежності від режимів функціонування техногенних об'єктів небезпечний вплив на природне середовище умовно розділяється на фоновий рівень (режим штатного функціонування техногенних об'єктів) і небезпечний рівень (режим нештатного функціонування – режим надзвичайної ситуації).

Далі у роботі проведено оцінку екологічно небезпечного впливу на природне середовище техногенних об'єктів підвищеної небезпеки у режимі їх повсякденного функціонування, з метою визначення режиму повсякденного функціонування ПТС системи. Визначена «робоча точка» дозволить нам у подальшому провести дослідження характеристик ПТС системи в умовах нештатного функціонування та визначити напрямки розробки відповідної системи безпеки з метою недопущення виходу енергії ПТС системи за межу граничного рівня нормального її функціонування (рівняння (8)), що призведе до хаосу системи та необхідності залучення додаткової енергії (за еквівалентом – додаткових засобів та обладнання для ліквідації НС) із-за її меж для ліквідації подібної ситуації.

За даними [16], у Державному реєстрі потенційно небезпечних об'єктів містяться докладні відомості про 14 562 об'єкти (інформацію представлено у табл. 5), до яких входять промислові підприємства, шахти, кар'єри, магістральні газо-, нафто- і продуктопроводи, гідротехнічні споруди, вузлові залізничні станції, мости, тунелі, накопичувачі та полігони промислових відходів, місця збереження небезпечних речовин та ін.

Т а б л и ц я 5

Кількість потенційно-небезпечних об'єктів в Україні [16]

Регион, область	Підприємство	Вугільна шах- та	Гідротехніч- ний об'єкт	Автозаправна станція	Кар'єр	Залізнична станція	Міст, віддук, шляхопровід	Сухопутний тунель	Магістральний трубопровід та відгалуження	Загальна кількість ПНО
АР Крим	360	0	8	318	1	5	2	3	13	711
Вінницька	238	0	11	165	1	53	7	0	10	485
Волинська	126	5	0	117	0	1	5	0	38	292
Дніпропетровська	540	11	16	253	3	9	50	0	22	904
Донецька	644	147	97	316	6	11	8	0	3	1232
Житомирська	226	0	8	136	11	68	24	0	0	473
Закарпатська	86	0	80	196	0	2	28	14	16	422
Запорізька	497	0	3	331	4	3	16	0	30	884
Івано-Франківська	248	0	4	72	1	7	20	7	2	361
Київська	444	0	7	489	0	20	6	0	28	995
Кіровоградська	190	1	8	217	4	17	0	0	1	438
Луганська	411	63	61	132	2	2	10	0	1	682
Львівська	405	9	4	259	1	16	36	7	86	823
Миколаївська	196	0	6	212	0	10	6	0	50	480
Одеська	212	0	0	145	0	12	7	0	0	376
Полтавська	299	0	1	103	2	5	8	0	3	421
Рівненська	184	0	4	128	8	5	2	0	40	371
Сумська	249	0	6	106	0	28	30	0	34	453
Тернопільська	186	0	9	126	0	10	5	1	19	356
Харківська	619	0	21	465	0	13	56	0	90	1264
Херсонська	172	0	2	116	0	10	27	0	0	327
Хмельницька	257	0	5	190	3	49	4	0	65	573
Черкаська	160	0	34	153	0	11	9	0	0	367
Чернівецька	97	0	5	117	0	4	4	0	0	227
Чернігівська	439	0	1	155	0	40	5	0	5	645
Усього	7485	236	402	5015	47	411	375	32	556	14562

Обробка представленого матеріалу дозволила нам визначити взаємозв'язок між кількістю потенційно-небезпечних об'єктів ($K_{\text{ПНО}}$) і величиною середньодобової енергії техногенного походження (\bar{E}^T), необхідної для нормального (в умовах енергетичного балансу) функціонування ПТС системи України протягом доби. Результати обробки представлені у графічних залежностях на рис. 2.

Обробка представленого на рис. 2 і далі у роботі матеріалу проводилась нами в межах двох підходів: перший підхід базується на диференціюванні ПНО за рівнями використання ними енергії техногенного походження та об'ємами викидів небезпечних речовин у атмосферу (лінії тренду А і Б); другий підхід базується на усередненні показників функціонування всіх ПНО, які входять до складу ПТС системи (лінії тренду В). Тому, апроксимація представлених на рис. 2 ліній тренду реалізована на інтервалі $\bar{E}^T = 80 - 3700$ ТДж різними показниковими функціями у вигляді:

$$K_{\text{ПНО}} = 84,91(\bar{E}^T)^{0,29} - \text{лінія А}; \quad (10)$$

$$K_{\text{ПНО}} = 223,02(\bar{E}^T)^{0,23} - \text{лінія Б}; \quad (11)$$

$$K_{\text{ПНО}} = 98,19(\bar{E}^T)^{0,29} - \text{лінія В}, \quad (12)$$

де \bar{E}^T – в ТДж, $K_{\text{ПНО}}$ – в одиницях об'єктів.

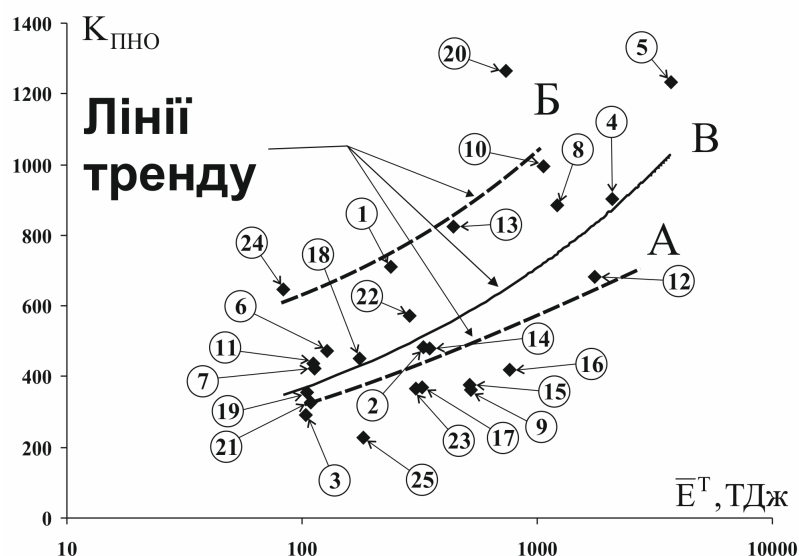


Рис. 2. Графічні залежності між величиною енергії техногенного походження і кількістю ПНО ($K_{\text{ПНО}}$) по регіонам України: 1 – АР Крим; 2 – Вінницька обл.; 3 – Волинська обл.; 4 – Дніпропетровська обл.; 5 – Донецька обл.; 6 – Житомирська обл.; 7 – Закарпатська обл.; 8 – Запорізька обл.; 9 – Івано-Франківська обл.; 10 – Київська обл.; 11 – Кіровоградська обл.; 12 – Луганська обл.; 13 – Львівська обл.; 14 – Миколаївська обл.; 15 – Одеська обл.; 16 – Полтавська обл.; 17 – Рівненська обл.; 18 – Сумська обл.; 19 – Тернопільська обл.; 20 – Харківська обл.; 21 – Херсонська обл.; 22 – Хмельницька обл.; 23 – Черкаська обл.; 24 – Чернівецька обл.; 25 – Чернігівська обл.

Одним з негативних наслідків функціонування об'єктів промисловості являється викид небезпечних речовин. За даними, наведеними у [16, 17], обсяги викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу ($\hat{Q}_{\text{АТМ}} \cdot 10^{-6}$ кг) від стаціонарних джерел забруднення в Україні протягом року представлено на рис. 3.

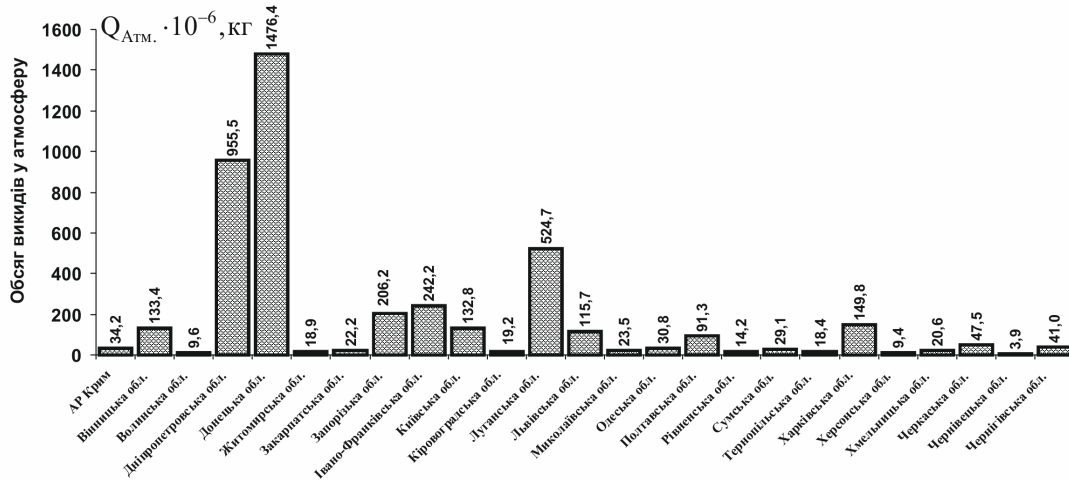


Рис. 3. Гістограма обсягів викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу від стаціонарних джерел забруднення по регіонах України [16, 17]

Зв'язок між обсягами викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу і кількістю ПНО і величиною енергії техногенного походження, необхідної для нормального функціонування ПТС системи України протягом доби, представлено у графічних залежностях на рис. 4. Лінії тренду описуються різними математичними виразами.

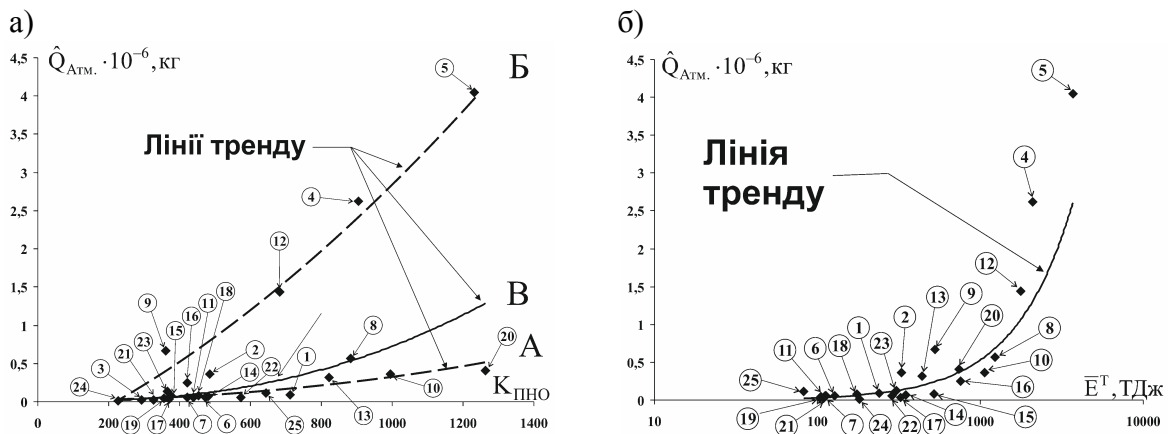


Рис. 4. Графічні залежності між: а – кількістю ПНО і середньодобовими обсягами викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу; б – між величиною енергії техногенного походження і середньодобовими обсягами викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу (нумерація областей наведена у алфавітному порядку і відповідає рис. 2)

Так, залежність між величиною енергії техногенного походження і обсягами викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу (див. рис. 4, б) має математичний вираз у вигляді

$$\hat{Q}_{\text{АТМ}} = 116,55(\bar{E}^T)^{1,22}, \quad (13)$$

де \bar{E}^T – в ТДж, $\hat{Q}_{\text{АТМ}} = Q_{\text{АТМ}}/365$ – обсяги викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу протягом доби, кг.

Оцінку залежності між кількістю ПНО і обсягами викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу проведено двома підходами – лінії тренду А та Б₁ і Б₂ на рис. 4, а.

По-перше, в межах представлень про однаковий об'єм викидів в атмосферу ПТС системи від всіх існуючих в Україні ПНО встановлено залежність між об'ємами викидів у атмосферу екологічно небезпечних речовин і кількістю ПНО (лінія тренду В) у вигляді

$$\hat{Q}_{\text{АТМ.}} = 29,9 \cdot 10^{-3} (K_{\text{ПНО}})^{2,46}. \quad (14)$$

По-друге, в межах проведеної нами градації ПНО за об'ємами викидів у атмосферу екологічно небезпечних речовин у відповідності з лініями трендів Б₁ і Б₂ встановлено залежність між $\hat{Q}_{\text{АТМ.}}$ і кількістю ПНО. Математичні вирази для ліній тренду А і Б мають відповідний вигляд:

$$\hat{Q}_{\text{АТМ.}} = 97,6 \cdot 10^{-3} (K_{\text{ПНО}})^{2,17}; \quad (15)$$

$$\hat{Q}_{\text{АТМ.}} = 97,79 (K_{\text{ПНО}})^{1,49}, \quad (16)$$

де $\hat{Q}_{\text{АТМ.}}$ – в кг, $K_{\text{ПНО}}$ – в одиницях об'єктів.

Таким чином, представлені у роботі вирази (10) – (16) встановлюють взаємозв'язок між енергетичними параметрами техногенної складової ПТС системи, кількістю потенційно-небезпечних об'єктів, які входять до складу техногенної складової ПТС системи, та рівнем їх негативного впливу на умови нормального функціонування природної складової ПТС системи, у вигляді викиду небезпечних речовин у атмосферу.

Однак отримані нами ці результати поки що не показують прямого функціонального зв'язку між ступенями забруднення атмосфери і станом здоров'я населення держави. Тому, наступним кроком роботи є встановлення зв'язку між обсягами викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу та ступенем їх негативного впливу на нормальні умови життєдіяльності соціальної складової ПТС системи.

Проведений у роботі [18] аналіз регіонів України за рівнем потенційної екологічної небезпеки для здоров'я населення дозволив визначити рівні еколого-медичного показнику ($K_{\text{ЕМ}}$) та його чисельні значення у вигляді, представленим у табл. 6.

Т а б л и ц я 6

Розподіл регіонів України за еколого-медичним показником

Еколого-медичний показник $K_{\text{ЕМ}}$		Регіон, область
$K_{\text{ЕМ}_1}$	3,7 – 6,2	Волинська обл.; Закарпатська обл.; Івано-Франківська обл.; Тернопільська обл.; Чернівецька обл.
$K_{\text{ЕМ}_2}$	7,9 – 20,1	Житомирська обл.; Київська обл.; Львівська обл.; Рівненська обл.; Сумська обл.
$K_{\text{ЕМ}_3}$	25,5 – 48,6	АР Крим; Кіровоградська обл.; Полтавська обл.; Хмельницька обл.; Чернігівська обл.
$K_{\text{ЕМ}_4}$	52,3 – 69,1	Вінницька обл.; Луганська обл.; Миколаївська обл.; Одеська обл.; Херсонська обл.; Черкаська обл.
$K_{\text{ЕМ}_5}$	74,2 – 92,3	Дніпропетровська обл.; Донецька обл.; Запорізька обл.; Харківська обл.

Таким чином, виникає необхідність встановлення глобальних техногенних причин та особливостей формування критерію показника K_{EM} на основі зіставлення його значень, характерних для регіонів України, з відповідними для регіонів величинами енергій \bar{E}^T в умовах повсякденного функціонування ПНО, що входять до складу ПТС системи України.

На базі отриманих нами даних (рис. 5) встановлено, що між показником небезпеки екологічної ситуації для здоров'я населення та величиною енергії техногенного походження, необхідної для повсякденного функціонування ПТС системи України протягом доби, існує стійка кореляція, яка дозволяє визначити залежність між показником небезпеки екологічної ситуації для здоров'я населення K_{EM} і величиною енергії \bar{E}^T у математичну вигляді:

$$K_{EM} = K_{EM_{Гр.}} \left(1 - e^{-\frac{\ln(1 - K_{EM_0} \cdot 10^{-2})}{\bar{E}_0^T} \bar{E}^T} \right). \quad (17)$$

Характер експоненціальної функції (17) свідчить, що у певному інтервалі енергій ПТС системи ($10^{13} \dots 10^{16}$ Дж) фіксується вузький інтервал коефіцієнтів еколого-медичної небезпеки, який суттєво впливає на умови життєдіяльності населення України.

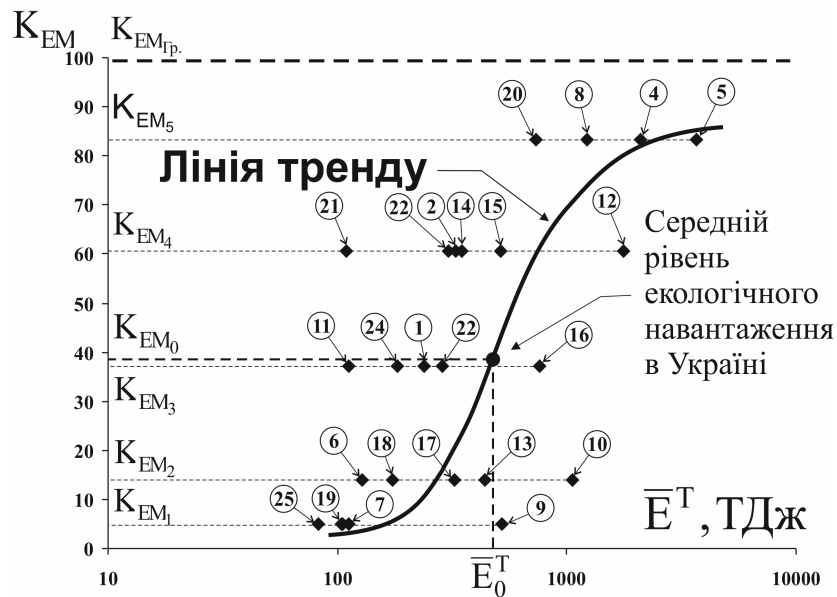


Рис. 5. Графічні залежності між показником небезпеки екологічної ситуації для здоров'я населення та величиною енергії техногенного походження, необхідної для нормального функціонування ПТС системи, де $\bar{E}_0^T \approx 6,3 \cdot 10^{14}$ Дж – середня по Україні величина енергії техногенного походження, яка визначає енергетичний баланс території України; $K_{EM_0} \approx 39,1$ – середня по Україні величина еколого-медичного показника; $K_{EM_{Гр.}}$ – граничне значення еколого-медичного показника, вище якого виникає надзвичайний режим функціонування ПТС системи (нумерація областей наведена у алфавітному порядку і відповідає рис. 2)

Обговорення

Представлений у даній роботі енергетичний підхід до оцінки екологічного стану ПТС системи України в режимі повсякденного функціонування базується на системному територіально-часовому аналізі техногенних властивостей регіонів України за об'ємами й енергією використання палива, кількістю використання електричної енергії, кількістю потенційно-небезпечних об'єктів, об'ємами викидів у атмосферу екологічно небезпечних речовин і їх взаємного впливу на рівень потенційної екологічної небезпеки для здоров'я населення.

Аналіз наведених у табл. 3 даних за об'ємами та енергією різного роду палива, що використано протягом року регіонами України, вказує, що щорічно кожним регіоном використовується приблизно $10^5 \dots 10^7$ т умовного палива, що становить $E_{\Pi} \approx 10^{16} \dots 10^{18}$ Дж. Найбільш споживаючим паливо регіоном виступає Донецька обл. ($E_{\Pi} \approx 1.25 \cdot 10^{18}$ Дж), а найменш споживаючим паливо являється Чернівецька обл. ($E_{\Pi} \approx 2.61 \cdot 10^{16}$ Дж).

В свою же чергу, Дніпропетровська, Запорізька та Харківська області, які характеризуються відносно високим рівнем потенційної екологічної небезпеки для здоров'я населення – K_{EM_5} (див. табл. 6), споживають різного роду палива на рівні $E_{\Pi} \approx 2 \cdot 10^{17} \dots 7 \cdot 10^{17}$ Дж, що на не набагато менше від Донецької обл.

Аналіз наведених у табл. 4 даних за виробленням електричної енергії протягом року регіонами України, вказує, що щорічно кожний регіон має у розпорядженні приблизно $2 \cdot 10^7 \dots 5 \cdot 10^{10}$ кВт·год.

Так, за рівнем вироблення електричної енергії на першому місці знаходиться Запорізька обл. ($E_E \approx 2 \cdot 10^{17}$ Дж), яка відповідає рівню екологічної небезпеки K_{EM_5} . На останньому місці знаходиться Житомирська обл. ($E_E \approx 7 \cdot 10^{13}$ Дж), яка відповідає рівню K_{EM_2} .

Нерівномірний розподіл по території України ПНО являється причиною нерівномірного екологічного навантаження в регіонах. У відповідності з наведеними в табл. 5 даними за розподілом по регіонам держави кількості ПНО вказує, що середня кількість ПНО на один регіон становить порядку 582 об'єкта.

Так, за кількістю ПНО на першому та другому місцях знаходяться Харківська (1264 об'єкта) та Донецька (1232 об'єкта) області, які відповідають максимальному рівню екологічної небезпеки для здоров'я населення – K_{EM_5} . На останньому місці знаходиться Чернівецька обл. (227 об'єктів) – K_{EM_1} .

У результаті життєдіяльності держави виникають умови екологічного навантаження на природну складову ПТС системи. Так, у відповідності з гістограмою обсягів викидів екологічно небезпечних речовин у атмосферу від стаціонарних джерел забруднення по регіонам України (див. рис. 3) найбільше навантаження на природне середовище спостерігається у Донецькій обл. ($\hat{Q}_{ATM} \approx 2 \cdot 10^9$ кг). Також, значними обсягами викидів у атмосферу характеризуються Дніпропетровська ($\hat{Q}_{ATM} \approx 9 \cdot 10^8$ кг), Запорізька ($\hat{Q}_{ATM} \approx 2 \cdot 10^8$ кг), Івано-Франківська ($\hat{Q}_{ATM} \approx 2 \cdot 10^8$ кг), Луганська ($\hat{Q}_{ATM} \approx 5 \cdot 10^8$ кг) та Харківська ($\hat{Q}_{ATM} \approx 1 \cdot 10^8$ кг) області.

Подібного роду навантаження на природне середовище має пагубний вплив на стан здоров'я населення України (див. табл. 6) та вказує на необхідність розробки ефективної системи екологічної безпеки в державі.

Представлені на рис. 2, 4 і 5 графічні залежності між об'ємами й енергією використання палива, кількістю використання електричної енергії, кількістю ПНО, об'ємами викидів в атмосферу екологічно небезпечних речовин і їх взаємного впливу на рівень потенційної екологічної небезпеки для здоров'я населення та їх математичні апроксимації у вигляді виразів (10) – (17) являються основою для розробки комплексної схеми заходів для забезпечення раннього моніторингу, ефективного попередження та ліквідації наслідків екологічної нестабільності в Україні.

Висновки

1. На основі розгляду енергетичних процесів повсякденного функціонування природно-техногенно-соціальної системи, процесів функціонування потенційно небезпечних об'єктів, процесів викиду екологічно небезпечних речовин у атмосферу та їх негативного впливу на соціальне середовище розроблено системний підхід і принцип оцінки екологічної небезпеки ПТС системи України в режимі повсякденного функціонування.

2. Встановлені аналітичні залежності між енергетичними параметрами техногенної складової ПТС системи, кількістю потенційно-небезпечних об'єктів, які входять до складу техногенної складової ПТС системи, рівнем їх негативного впливу на умови нормального функціонування природної складової ПТС системи, у вигляді викиду небезпечних речовин у атмосферу, та рівнем потенційної екологічної небезпеки для здоров'я населення.

3. Представлений енергетичний підхід і отримані нові аналітичні залежності являються основою для проведення подальших досліджень екологічно небезпечних умов функціонування ПТС системи в режимі підвищеної готовності та режимах надзвичайної ситуації, з метою розробки ефективної системи моніторингу та протидії надзвичайним ситуаціям техногенного характеру в Україні.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННО-СОЦИАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УКРАИНЫ В РЕЖИМЕ ПОВСЕДНЕВНОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

В.Д. Калугин, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.И. Шевченко

В работе изложены основы энергетического подхода для оценки опасности жизнедеятельности в условиях экологической нестабильности, которые необходимы для разработки эффективной комплексной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций в Украине.

POWER APPROACH for the ASSESSMENT of the ECOLOGICAL CONDITION NATURAL and TECHNOGENIC and SOCIAL SYSTEM of UKRAINE in the MODE of DAILY FUNCTIONING

V. Kalugin, V. Tyutyunik, L. Chernogor, R. Shevchenko

In paper bases of a power approach for an estimation of danger of life activity in the conditions of ecological instability which are necessary for development of effective complex system of the prevention of emergency situations in Ukraine are offered.

Список використаних джерел

1. Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2012. – 556 с.
2. 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.

3. Кодекс цивільного захисту України // *Голос України*. - № 220 (5470), вівторок, 20 листопада 2012 р.
4. *Азімов О.Т.* Огляд поточного стану природно-техногенної безпеки в Україні та перспективи розвитку аналітичної інтерактивної системи моніторингу надзвичайних ситуацій засобами дистанційних, телематичних та ГІС-технологій / О.Т. Азімов, П.А. Коротинський, Ю.Ю. Колесніченко // *ГЕОІНФОРМАТИКА* – 2006. – № 4. – С. 52 – 66.
5. *Романченко І.С.* Екологічна безпека: екологічний стан та методи його моніторингу / І.С. Романченко, А.І. Сбітнєв, С.Г. Бутенко. – К., 2006. – 560 с.
6. *Тютюник В.В.* Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // *Зб. наук. пр. Харківського ун-ту Повітряних Сил*. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2008. – Вип. 3 (18). – С. 179 – 180.
7. *Питулько В.М.* Научное обеспечение управлением риска аварий и катастроф / В.М. Питулько // *Инженерная экология*. – 1996. – № 3. – С. 36 – 44.
8. *Сліпченко В.Г.* Еколого-економічні збитки: кількісна оцінка / В.Г. Сліпченко [та ін.]; за ред. І.В. Недіна. – К.: ІВЦ «Вид-во Політехніка», 2001. – 216 с.
9. *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.
10. *Кондратьев В.Д.* Комплексная оценка уровня риска опасного объекта / В.Д. Кондратьев, А.В. Толстых, Б.К. Уандыков, А.В. Щепкин // *Системы управления и информационных технологий*. – 2004. – № 3 (15). – С. 53 – 57.
11. *Швыряев А.А.* Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе / А.А. Швыряев, В.В. Меньшиков. – М.: МГУ, 2004. – 124 с.
12. *Черногор Л.Ф.* Экологические последствия массовых химических взрывов при техногенной катастрофе / Л.Ф. Черногор // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. – 2006. – № 6. – С. 522 – 535.
13. *Кірючкін О.Ю.* Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України / О.Ю. Кірючкін, М.М. Мурін, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. – 2007. – № 6. – С. 62 – 73.
14. *Тютюник В.В.* Системний підхід до оцінки безпеки життєдіяльності при територіально-часовому розподілі енергії джерел надзвичайних ситуацій / В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, В.Д. Калугін // *Проблеми надзвичайних ситуацій*. – Х.: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 14. – С. 171 – 194.
15. *Паливно-енергетичні ресурси України: статистичний збірник*. – К.: Державний комітет статистики України, 2009. – 443 с.
16. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2007 році [Електронний ресурс]*. – Режим доступу: <http://www.menr.gov.ua/index.php/dopovidi/nacdopovidi>
17. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2009 році*. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – 383 с.
18. *Свестун Р.* Комплексний аналіз стану хімічного забруднення довкілля в різних регіонах України / Р. Свестун, М. Циганкова, О. Парахіна, Т. Доценко // *Мат. Всеукр. наук.-практ. конф. "Медико-біологічні студії екосистем"* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.experts.in.ua/baza/analitic/index.php?ELEMENT_ID=25685

Надійшла до редакції 20.12.2013 р.