

Наука і сучасні технології

УДК 351.861

ОЦЕНКА УРОВНЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

¹В.Д. Калугин, ¹В.В. Тютюник, ²Л.Ф. Черногор, ¹Р.И. Шевченко

¹Национальный университет гражданской защиты Украины,
г. Харьков, ул. Чернышевская, 94, тел. (057) 7003171, e-mail: post@nuczu.edu.ua

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина,
г. Харьков, пл. Свободы, 4, тел. (057) 7075500, e-mail: info@karazin.ua

Розроблено підхід до оцінки рівня хімічної небезпеки території України на основі аналізу її інтегрального показника – енергії техногенного походження, яка є сумою електроенергії та енергії усіх видів палив, що споживаються в процесах функціонування регіонів держави. У рамках представленого підходу на основі аналізу динаміки хімічної небезпеки в Україні за період 2004 – 2011 рр. вирішено наступні задачі: проведено оцінку залежності між рівнем споживання середньодобової енергії техногенного походження та кількістю небезпечних хімічних об'єктів; отримано залежність між кількістю небезпечних хімічних об'єктів та середньодобовою частотою виникнення надзвичайних ситуацій; встановлено залежність між кількістю небезпечних хімічних об'єктів та масою небезпечних хімічних речовин, що знаходиться в них; проведено оцінку залежності між кількістю населення, що потрапило у зону можливого хімічного ураження, та кількістю небезпечних хімічних об'єктів. Отримані результати використані для оцінки ступеня ризику життєдіяльності природно-техногенно-соціальної системи України та розробки ефективної системи моніторингу, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, а також забезпечення екологічної безпеки.

Ключові слова: надзвичайна ситуація, хімічна небезпека, небезпека життєдіяльності, енергетичний підхід

Разработан подход для оценки уровня химической опасности территории Украины на основе анализа ее интегрального показателя – энергии техногенного происхождения, которая является суммой электроэнергии и энергии всех видов топлив, потребляемых в процессе функционирования регионов государства. В рамках представленного подхода на основе анализа динамики химической опасности в Украине за период 2004 – 2011 гг. решены следующие задачи: проведена оценка зависимости между уровнем потребления среднесуточной энергии техногенного происхождения и количеством опасных химических объектов; получена зависимость между количеством опасных химических объектов и среднесуточной частотой возникновения чрезвычайных ситуаций; установлена зависимость между количеством опасных химических объектов и массой находящихся в них опасных химических веществ; проведена оценка зависимости между количеством населения, попавшего в зону возможного химического заражения, и количеством опасных химических объектов. Полученные результаты использованы для оценки степени риска жизнедеятельности природно-техногенно-социальной системы Украины и разработки эффективной системы мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, а также обеспечения экологической безопасности.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, химическая опасность, опасность жизнедеятельности, энергетический подход

Approach is developed for an assessment of level of chemical danger of the territory of Ukraine on the basis of the analysis of its integrated parameter – energy of a technogenic origin which is the sum of the electric power and power of all types of the fuels consumed in the course of functioning of regions of the state. Within the presented approach on the basis of the analysis of dynamics of chemical danger in Ukraine during 2004 – 2011 the following tasks are solved: the dependence assessment between a consumption level of average daily energy of a technogenic origin and quantity of dangerous chemical objects is carried out; dependence between quantity of dangerous chemical objects and average daily frequency of occurrence of emergencies are received; dependence between quantity of

dangerous chemical objects and mass of the dangerous chemicals which were in them is established; the dependence assessment between the number of the population which has got to a zone of possible chemical infection, and the quantity of dangerous chemical objects is carried out. The received results are used for an assessment of degree of activity risk of natural and technogenic and social system of Ukraine and development of effective system of monitoring, the prevention and elimination of emergencies of natural and technogenic character, and also ensuring ecological safety

Keywords: emergency situations, chemical danger, activity danger, power approach

Обоснование проблемы. Современные условия существования, развития и взаимодействия природной, техногенной и социальной среды приводят к возникновению различного рода опасностей. Факторы этих опасностей дестабилизируют условия жизнедеятельности на всех жизненных уровнях биосферы планеты Земля, вызывая в некоторых ее регионах частичное или полное уничтожение природно-экологического, экономико-технического и социально-политического баланса [1, 2]. В этой связи возникает насущная необходимость в рассмотрении и разработке направлений эффективного противодействия возникновению чрезвычайных ситуаций (ЧС).

Одним из перспективных направлений решения данной проблемы является создание эффективной территориальной комплексной автоматизированной системы раннего мониторинга, предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера на этапе их зарождения [3, 4].

Реализация такого подхода невозможна без проведения научных исследований, направленных на изучение процессов зарождения предшествующих факторов техногенных опасностей, их развития до уровня катастроф, распространения этих катастроф и их взаимного влияния (взаимной генерации) в условиях существования природно-техногенных, техногенно-техногенных и техногенно-природных взаимосвязей. Данная работа является частью запланованного комплекса научных исследований, направленных на изучение пожарной, химической, радиационной, взрывной опасности техногенных объектов, находящихся на территории Украины, а также процессов взаимного влияния этих объектов в условиях неравномерного территориально-временного распределения различного рода опасностей природно-техногенно-социальной системы (ПТС системы). Более конкретно данная работа сориентирована на оценку уровня химической опасности территории Украины.

Анализ последних достижений. Известные в научной литературе [5 – 8] методы оценки риска опасности функционирования ПТС системы основываются на двух подходах, в основе которых лежат вероятностно-статистический и экспертный анализы. Эти подходы не учитывают физико-химические основы процессов, которые протекают при зарождении предшествующих факторов опасностей, развития ЧС и их энергию разрушающего воздействия, поэтому представляют собой декларативную оценку степени опасности функционирования ПТС системы в условиях ЧС.

Однако при формировании системы комплексных мероприятий для предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера возникает необходимость исследования особенностей процессов зарождения и развития ЧС в условиях территориально-временного распределения источников предшествующих факторов ЧС, а также исследования взаимного влияния различного рода ЧС на безопасность ПТС системы.

В данном направлении, для оценки степени опасности различного рода ЧС природного и техногенного характера в работах [9, 10] предложен энергетический подход, основанный на сопоставительном анализе энергии разрушающего воздействия ЧС, энергии территории, попавшей под негативное воздействие ЧС, энергии ПТС системы и энергии системы мониторинга, предупреждения и ликвидации ЧС природного и техногенного характера. Применение данного энергетического подхода для оценки уровня химической опасности территории Украины позволяет сформулировать цель работы.

Постановка задачи и ее решение. Целью данной работы является развитие представлений о динамике и энергетике функционирования ПТС системы Украины с разнесенными в пространстве и времени источниками химической опасности (опасных химических объектов) и их дестабилизирующего влияния на условия безопасности жизнедеятельности.

Статистические интегральные данные об уровне химической опасности в Украине за период 2004 – 2011 гг., в соответствии с информацией, представленной в [11], сведены в табл. 1. На основе интегральных данных рассчитаны удельные показатели, которые позволяют более глубоко проанализировать состояние химической опасности в Украине.

Динамика удельных показателей $M_{\text{ОХВ}}/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$, $M_{\text{ОХВ}}/N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$, $(K_{\text{Авар.}}^{\text{Хим.}} + K_{\text{ЧС.}}^{\text{Хим.}})/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ и $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}/K_{\text{СБ}}^{\text{Хим.}}$, характерных для Украины за период 2004 – 2011 гг., в соответствии с данными, сведенными в табл. 1, представлена в графическом виде на рис. 1.

Так, представленная в табл. 1 и на рис. 1 динамика безопасности жизнедеятельности ПТС системы Украины в условиях функционирования опасных химических объектов позволяет высказать следующее:

во-первых, в Украине за период 2004 – 2011 гг. намечается тенденция к уменьшению количества опасных химических объектов – значение показателя $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ уменьшилось с 1560 объектов до 1093 объекта;

Таблиця 1 – Статистические данные об уровне химической опасности в Украине за период 2004 – 2011 гг. [11]

Год	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Количество опасных химических объектов ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$)	1560	1572	1524	1488	1414	1292	1209	1093
Масса опасных химических веществ ($M_{\text{ОХВ}}$, кт)	235,57	332,60	355,93	314,27	356,49	442,10	358,66	275,24
$M_{\text{ОХВ}}/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$, т/объект	151,01	211,58	233,55	211,20	252,11	342,18	296,66	251,82
Количество населения в зоне возможного химического заражения ($N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$, млн. чел.)	15,89	13,82	11,98	11,66	10,06	12,09	11,83	11,30
$M_{\text{ОХВ}}/N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$, т/чел.	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$
Количество случаев аварийного загрязнения атмосферы ($K_{\text{Авар.}}^{\text{Хим.}}$) / количество ЧС ($K_{\text{ЧС.}}^{\text{Хим.}}$)	108/7	78/13	36/9	49/7	28/10	21/8	11/2	7/5
$\frac{K_{\text{Авар.}}^{\text{Хим.}} + K_{\text{ЧС.}}^{\text{Хим.}}}{K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}}$, ЧС/объект	0,07	0,06	0,03	0,04	0,03	0,02	0,01	0,01
Наличие станций мониторинга опасных химических веществ ($K_{\text{СБ}}^{\text{Хим.}}$)	609	678	651	684	Информация отсутствует			
$K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}/K_{\text{СБ}}^{\text{Хим.}}$	2,56	2,32	2,34	2,18	2,07*	1,89*	1,77*	1,60*

Примечание: * – расчет произведен при условии имеющихся данных за 2007 год по количеству станций мониторинга ($K_{\text{СБ}}^{\text{Хим.}} = 684$ станции).

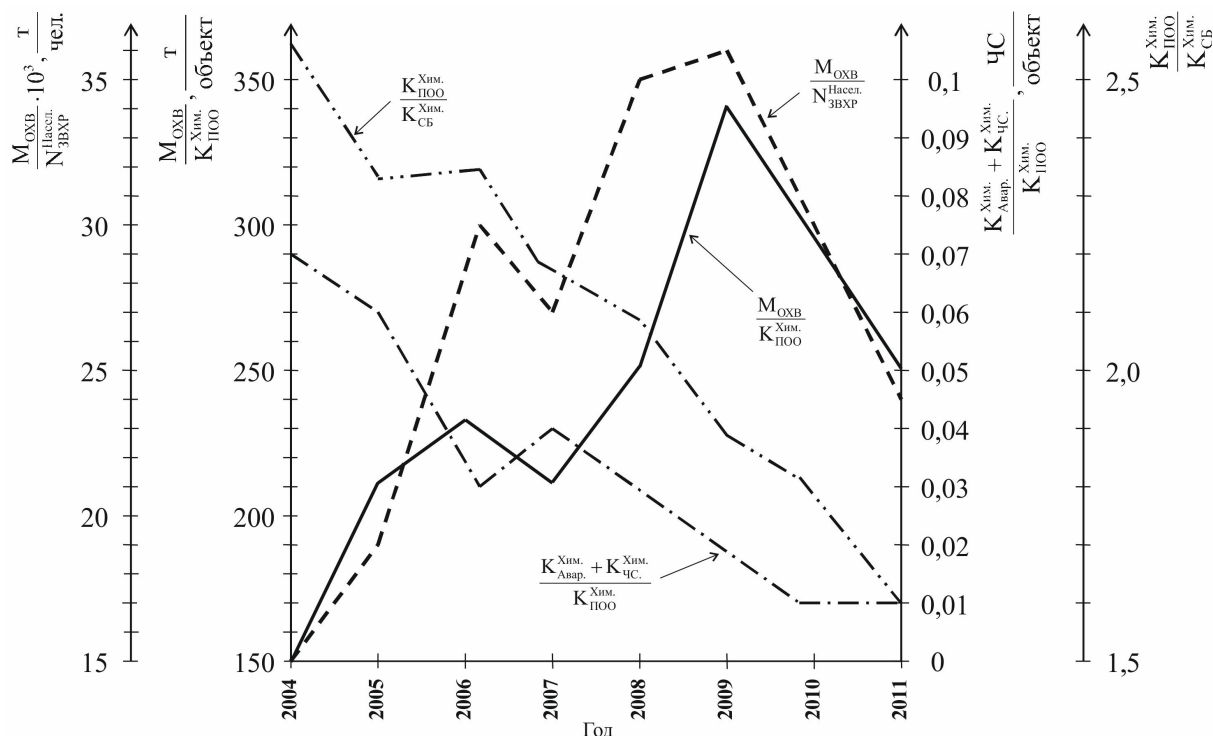


Рисунок 1 – Динамика показателей $M_{\text{ОХВ}}/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$, $M_{\text{ОХВ}}/N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$, $(K_{\text{Авар.}}^{\text{Хим.}} + K_{\text{ЧС.}}^{\text{Хим.}})/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ и $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}/K_{\text{СБ}}^{\text{Хим.}}$ в Украине за период 2004 – 2011 гг

Таблиця 2 – Масса топлива (в тонах условного топлива) и его энергия при использовании на протяжении года в Украине в 2009 и 2010 гг. [12]

Регион, область	2009 год	2010 год	Средний объем	Энергия E_T , Дж
АР Крым	2752845	2991586	$2,87 \cdot 10^6 \pm 1,19 \cdot 10^5$	$8,42 \cdot 10^{16} \pm 3,50 \cdot 10^{15}$
Винницкая	3523690	3541155	$3,53 \cdot 10^6 \pm 8,73 \cdot 10^3$	$1,04 \cdot 10^{17} \pm 2,56 \cdot 10^{14}$
Волинская	1218287	1337862	$1,28 \cdot 10^6 \pm 5,98 \cdot 10^4$	$3,74 \cdot 10^{16} \pm 1,75 \cdot 10^{15}$
Днепропетровская	23439440	25573391	$24,51 \cdot 10^6 \pm 1,07 \cdot 10^6$	$7,18 \cdot 10^{17} \pm 3,13 \cdot 10^{16}$
Донецкая	40616596	44827345	$42,72 \cdot 10^6 \pm 2,11 \cdot 10^6$	$1,25 \cdot 10^{18} \pm 6,17 \cdot 10^{16}$
Житомирская	1538496	1630951	$1,58 \cdot 10^6 \pm 4,62 \cdot 10^4$	$4,64 \cdot 10^{16} \pm 1,35 \cdot 10^{15}$
Закарпатская	1461338	1302396	$1,38 \cdot 10^6 \pm 7,95 \cdot 10^4$	$4,05 \cdot 10^{16} \pm 2,33 \cdot 10^{15}$
Запорожская	8596398	9138736	$8,87 \cdot 10^6 \pm 2,71 \cdot 10^5$	$2,60 \cdot 10^{17} \pm 7,95 \cdot 10^{15}$
Ивано-Франковская	5600038	5171550	$5,39 \cdot 10^6 \pm 2,14 \cdot 10^5$	$1,58 \cdot 10^{17} \pm 6,28 \cdot 10^{15}$
Киевская	10957692	12621530	$11,79 \cdot 10^6 \pm 8,32 \cdot 10^5$	$3,45 \cdot 10^{17} \pm 2,44 \cdot 10^{16}$
Кировоградская	1169452	1209690	$1,19 \cdot 10^6 \pm 2,01 \cdot 10^4$	$3,49 \cdot 10^{16} \pm 5,89 \cdot 10^{14}$
Луганская	21343882	20846431	$21,10 \cdot 10^6 \pm 2,49 \cdot 10^5$	$6,18 \cdot 10^{17} \pm 7,29 \cdot 10^{15}$
Львовская	5204824	5149382	$5,18 \cdot 10^6 \pm 2,77 \cdot 10^4$	$1,52 \cdot 10^{17} \pm 8,12 \cdot 10^{14}$
Николаевская	1959234	2086077	$2,02 \cdot 10^6 \pm 6,34 \cdot 10^4$	$5,93 \cdot 10^{16} \pm 1,86 \cdot 10^{15}$
Одесская	6487166	6387987	$6,44 \cdot 10^6 \pm 4,96 \cdot 10^4$	$1,89 \cdot 10^{17} \pm 1,45 \cdot 10^{15}$
Полтавская	9116751	9481605	$9,30 \cdot 10^6 \pm 1,82 \cdot 10^5$	$2,72 \cdot 10^{17} \pm 5,35 \cdot 10^{15}$
Ровненская	1635854	2403147	$2,02 \cdot 10^6 \pm 3,84 \cdot 10^5$	$5,92 \cdot 10^{16} \pm 1,12 \cdot 10^{16}$
Сумская	2210151	2036592	$2,12 \cdot 10^6 \pm 8,67 \cdot 10^4$	$6,22 \cdot 10^{16} \pm 2,54 \cdot 10^{15}$
Тернопольская	1269316	1325983	$1,30 \cdot 10^6 \pm 2,83 \cdot 10^4$	$3,80 \cdot 10^{16} \pm 8,30 \cdot 10^{14}$
Харьковская	7894425	8388092	$8,14 \cdot 10^6 \pm 2,47 \cdot 10^5$	$2,39 \cdot 10^{17} \pm 7,23 \cdot 10^{15}$
Херсонская	1169947	1159563	$1,16 \cdot 10^6 \pm 5,19 \cdot 10^3$	$3,41 \cdot 10^{16} \pm 1,52 \cdot 10^{14}$
Хмельницкая	1832376	1904497	$1,87 \cdot 10^6 \pm 3,61 \cdot 10^4$	$5,47 \cdot 10^{16} \pm 1,06 \cdot 10^{15}$
Черкасская	3406414	3856273	$3,63 \cdot 10^6 \pm 2,25 \cdot 10^5$	$1,06 \cdot 10^{17} \pm 6,59 \cdot 10^{15}$
Черновицкая	847608	936736	$0,89 \cdot 10^6 \pm 4,46 \cdot 10^4$	$2,61 \cdot 10^{16} \pm 1,31 \cdot 10^{15}$
Черниговская	2159552	2102899	$2,13 \cdot 10^6 \pm 2,83 \cdot 10^4$	$6,24 \cdot 10^{16} \pm 8,30 \cdot 10^{14}$
Украина	167411772	177411456	$172,41 \cdot 10^6 \pm 5,00 \cdot 10^6$	$5,05 \cdot 10^{18} \pm 1,46 \cdot 10^{17}$

во-вторых, за период 2004 – 2009 гг. происходит сосредоточение массы опасных химических веществ на меньшем количестве объектов, что характеризуется изменением показателя $M_{OXB}/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ с 151 т/объект до 342 т/объект. За период 2009 – 2011 гг. происходит уменьшение массы опасных химических веществ в условиях уменьшения количества опасных химических объектов (значение показателя $M_{OXB}/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ уменьшилось до 252 т/объект);

в-третьих, сосредоточение за период 2004 – 2009 гг. опасных химических веществ на меньшем количестве объектов привело к увеличению степени опасного химического воздействия на население, попавшее в зону возможного химического заражения, что подтверждается изменением показателя $M_{OXB}/N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$ с $1,5 \cdot 10^{-2}$ т/чел. до $3,6 \cdot 10^{-2}$ т/чел. Уменьшение массы опасных химических веществ в период 2009 – 2011 гг. приводит к уменьшению показателя $M_{OXB}/N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$ до уровня $2,4 \cdot 10^{-2}$ т/чел.;

в-четвертых, увеличение за период 2004 – 2011 гг. количества станций мониторинга опасных химических веществ в условиях уменьшения количества опасных химических объектов (значение показателя $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}/K_{\text{СБ}}^{\text{Хим.}}$ уменьшилось

с 2,56 до 1,60) привело к уменьшению нештатных ситуаций на объектах: значение показателя $(K_{\text{Авар.}}^{\text{Хим.}} + K_{\text{ЧС.}}^{\text{Хим.}})/K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ уменьшилось с 0,07 ЧС/объект до 0,01 ЧС/объект.

Поскольку условия нормального функционирования ПТС системы Украины определяются балансом энергий природного и техногенного происхождения, которая необходима для протекания процессов жизнедеятельности на всех жизненных уровнях ПТС системы [9, 10], поэтому, для оценки степени опасности жизнедеятельности регионов Украины в условиях функционирования на их территории потенциально-опасных объектов (ПОО) химической направленности, в работе предлагается использовать энергетический показатель, как интегральный показатель жизнедеятельности регионов в условиях ЧС техногенного происхождения.

Энергия техногенного происхождения ($E_{\text{Тех.}}$) является составляющей энергии различных видов топлив (E_T), которые потребляются регионами, и электрической энергии (E_E), выработанной в государстве и полученной извне.

Уровни потребления регионами Украины различных видов топлив, по данным, обнаруженным Государственным комитетом ста-

Таблица 3 – Количество электрической энергии потребленной регионами на протяжении года в Украине [12]

Регион, область	Количество электроэнергии, кВт·ч			Среднее значение E_E	
	2006 год	2007 год	2008 год	кВт·ч	Дж
АР Крым	$692 \cdot 10^6$	$772 \cdot 10^6$	$821 \cdot 10^6$	$762 \cdot 10^6 \pm 38 \cdot 10^6$	$2,74 \cdot 10^{15} \pm 1,35 \cdot 10^{14}$
Винницкая	$4551 \cdot 10^6$	$4527 \cdot 10^6$	$4204 \cdot 10^6$	$4427 \cdot 10^6 \pm 112 \cdot 10^6$	$1,59 \cdot 10^{16} \pm 4,03 \cdot 10^{14}$
Волынская	$116 \cdot 10^6$	$110 \cdot 10^6$	$91 \cdot 10^6$	$107 \cdot 10^6 \pm 8 \cdot 10^6$	$3,80 \cdot 10^{14} \pm 2,71 \cdot 10^{13}$
Днепропетровская	$13262 \cdot 10^6$	$12851 \cdot 10^6$	$12833 \cdot 10^6$	$12982 \cdot 10^6 \pm 140 \cdot 10^6$	$4,67 \cdot 10^{16} \pm 5,04 \cdot 10^{14}$
Донецкая	$25765 \cdot 10^6$	$28269 \cdot 10^6$	$26631 \cdot 10^6$	$26888 \cdot 10^6 \pm 734 \cdot 10^6$	$9,68 \cdot 10^{16} \pm 2,64 \cdot 10^{15}$
Житомирская	$33 \cdot 10^6$	$18 \cdot 10^6$	$11 \cdot 10^6$	$21 \cdot 10^6 \pm 6 \cdot 10^6$	$7,44 \cdot 10^{13} \pm 2,34 \cdot 10^{13}$
Закарпатская	$131 \cdot 10^6$	$147 \cdot 10^6$	$158 \cdot 10^6$	$145 \cdot 10^6 \pm 9 \cdot 10^6$	$5,23 \cdot 10^{14} \pm 2,82 \cdot 10^{13}$
Запорожская	$51295 \cdot 10^6$	$53512 \cdot 10^6$	$50899 \cdot 10^6$	$51902 \cdot 10^6 \pm 813 \cdot 10^6$	$1,87 \cdot 10^{17} \pm 2,93 \cdot 10^{15}$
Ивано-Франковская	$9465 \cdot 10^6$	$9242 \cdot 10^6$	$9216 \cdot 10^6$	$9308 \cdot 10^6 \pm 79 \cdot 10^6$	$3,35 \cdot 10^{16} \pm 2,84 \cdot 10^{14}$
Киевская	$12002 \cdot 10^6$	$11391 \cdot 10^6$	$11485 \cdot 10^6$	$11626 \cdot 10^6 \pm 190 \cdot 10^6$	$4,19 \cdot 10^{16} \pm 6,84 \cdot 10^{14}$
Кировоградская	$1859 \cdot 10^6$	$1463 \cdot 10^6$	$1565 \cdot 10^6$	$1629 \cdot 10^6 \pm 119 \cdot 10^6$	$5,86 \cdot 10^{15} \pm 4,27 \cdot 10^{14}$
Луганская	$6399 \cdot 10^6$	$7149 \cdot 10^6$	$7193 \cdot 10^6$	$6914 \cdot 10^6 \pm 258 \cdot 10^6$	$2,49 \cdot 10^{16} \pm 9,28 \cdot 10^{14}$
Львовская	$2323 \cdot 10^6$	$2196 \cdot 10^6$	$2292 \cdot 10^6$	$2270 \cdot 10^6 \pm 38 \cdot 10^6$	$8,17 \cdot 10^{15} \pm 1,38 \cdot 10^{14}$
Николаевская	$18215 \cdot 10^6$	$18281 \cdot 10^6$	$19762 \cdot 10^6$	$18753 \cdot 10^6 \pm 505 \cdot 10^6$	$6,75 \cdot 10^{16} \pm 1,82 \cdot 10^{15}$
Одесская	$130 \cdot 10^6$	$113 \cdot 10^6$	$87 \cdot 10^6$	$110 \cdot 10^6 \pm 13 \cdot 10^6$	$3,96 \cdot 10^{14} \pm 4,50 \cdot 10^{13}$
Полтавская	$1413 \cdot 10^6$	$1402 \cdot 10^6$	$1301 \cdot 10^6$	$1372 \cdot 10^6 \pm 36 \cdot 10^6$	$4,94 \cdot 10^{15} \pm 1,28 \cdot 10^{14}$
Ровненская	$15962 \cdot 10^6$	$16419 \cdot 10^6$	$17267 \cdot 10^6$	$16549 \cdot 10^6 \pm 382 \cdot 10^6$	$5,96 \cdot 10^{16} \pm 1,38 \cdot 10^{15}$
Сумская	$429 \cdot 10^6$	$450 \cdot 10^6$	$420 \cdot 10^6$	$433 \cdot 10^6 \pm 9 \cdot 10^6$	$1,56 \cdot 10^{15} \pm 3,20 \cdot 10^{13}$
Тернопольская	$105 \cdot 10^6$	$82 \cdot 10^6$	$77 \cdot 10^6$	$88 \cdot 10^6 \pm 9 \cdot 10^6$	$3,17 \cdot 10^{14} \pm 3,10 \cdot 10^{13}$
Харьковская	$9088 \cdot 10^6$	$8137 \cdot 10^6$	$8398 \cdot 10^6$	$8541 \cdot 10^6 \pm 284 \cdot 10^6$	$3,07 \cdot 10^{16} \pm 1,02 \cdot 10^{15}$
Херсонская	$1896 \cdot 10^6$	$1382 \cdot 10^6$	$1524 \cdot 10^6$	$1601 \cdot 10^6 \pm 153 \cdot 10^6$	$5,76 \cdot 10^{15} \pm 5,52 \cdot 10^{14}$
Хмельницкая	$14672 \cdot 10^6$	$14921 \cdot 10^6$	$12167 \cdot 10^6$	$13920 \cdot 10^6 \pm 879 \cdot 10^6$	$5,01 \cdot 10^{16} \pm 5,17 \cdot 10^{15}$
Черкасская	$1566 \cdot 10^6$	$1400 \cdot 10^6$	$1624 \cdot 10^6$	$1530 \cdot 10^6 \pm 67 \cdot 10^6$	$5,51 \cdot 10^{15} \pm 2,42 \cdot 10^{14}$
Черновицкая	$1174 \cdot 10^6$	$869 \cdot 10^6$	$1348 \cdot 10^6$	$1130 \cdot 10^6 \pm 140 \cdot 10^6$	$4,07 \cdot 10^{15} \pm 5,04 \cdot 10^{14}$
Черниговская	$840 \cdot 10^6$	$1148 \cdot 10^6$	$1215 \cdot 10^6$	$1068 \cdot 10^6 \pm 115 \cdot 10^6$	$3,84 \cdot 10^{15} \pm 4,16 \cdot 10^{14}$
Произведено в Украине	$1,93 \cdot 10^{11}$	$1,96 \cdot 10^{11}$	$1,93 \cdot 10^{11}$	$1,94 \cdot 10^{11} \pm 1,11 \cdot 10^9$	$6,99 \cdot 10^{17} \pm 4,00 \cdot 10^{15}$
Получено извне	$2,08 \cdot 10^9$	$3,38 \cdot 10^9$	$2,10 \cdot 10^9$	$2,52 \cdot 10^9 \pm 4,30 \cdot 10^8$	$9,08 \cdot 10^{15} \pm 1,55 \cdot 10^{15}$
Всего	$1,95 \cdot 10^{11}$	$2,00 \cdot 10^{11}$	$1,95 \cdot 10^{11}$	$1,97 \cdot 10^{11} \pm 1,53 \cdot 10^9$	$7,08 \cdot 10^{17} \pm 5,53 \cdot 10^{15}$

тики Украины [12], представлены в табл. 2. Все виды топлив, включающие нефть, природный газ, каменный уголь, бензин моторный и др., пересчитаны по истинным значениям их масс в условные значения. В расчетах было принято, что теплота сгорания за $29,3 \text{ МДж/кг} \approx 7000 \text{ ккал/кг}$.

Как видно из табл. 2, ежегодно каждым регионом используется приблизительно $10^5 - 10^7$ тонн условного топлива, что обеспечивает уровень энергии $E_T \approx 10^{16} - 10^{18}$ Дж. Наиболее потребляемым регионом является Донецкая обл. ($E_T \approx 1,25 \cdot 10^{18}$ Дж). С наименьшим показателем потребления топлива оказывается Черновицкая обл. ($E_T \approx 2,61 \cdot 10^{16}$ Дж).

Количество электрической энергии (E_E), потребленной регионами Украины, по данным [12], представлено в табл. 3, из которой видно, что ежегодно каждый регион имеет в своем распоряжении электроэнергию в количестве приблизительно $2 \cdot 10^7 - 5 \cdot 10^{10}$ кВт·ч. По уровню

потребления электроэнергии на первом месте находится Запорожская обл. ($E_E \approx 1,9 \cdot 10^{17}$ Дж). На ступень ниже находятся Донецкая обл. ($E_E \approx 9,7 \cdot 10^{16}$ Дж), Киевская обл. ($E_E \approx 4,2 \cdot 10^{16}$ Дж), Днепропетровская обл. ($E_E \approx 4,7 \cdot 10^{16}$ Дж) и Харьковская обл. ($E_E \approx 3,1 \cdot 10^{16}$ Дж). На последнем месте – Житомирская обл. ($E_E \approx 7,4 \cdot 10^{13}$ Дж).

Оценить социальные условия жизнедеятельности регионов возможно путем анализа взаимосвязи между объемами потребления регионами энергии техногенного происхождения $E^{\text{Тех.}} = E_T + E_E$ и количеством проживающего населения. Распределение среднесуточной энергии $\bar{E}^{\text{Тех.}} = E^{\text{Тех.}}/365$, как интегрального показателя уровня жизни, и количества населения ($N^{\text{Насел.}}$) по регионам Украины представлено на рис. 2.

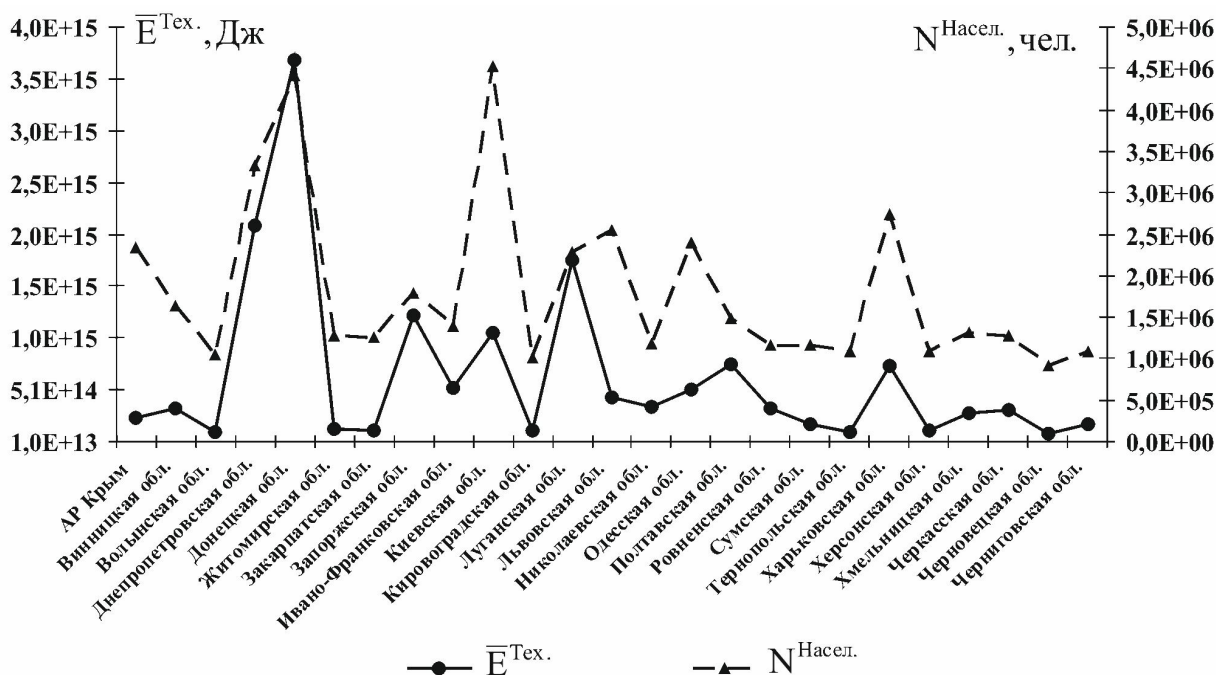


Рисунок 2 – Распределение среднесуточной энергии техногенного происхождения (\bar{E}^{Tex}) и количества населения ($N^{Насел.}$) по регионам Украины

Как видно из рис. 2, наиболее заселенными являются Киевская обл. ($N^{Насел.} \approx 4,5 \cdot 10^6$ чел.) и Донецкая обл. ($N^{Насел.} \approx 4,4 \cdot 10^6$ чел.). Кроме того, значительно заселенными являются Днепропетровская ($N^{Насел.} \approx 3,3 \cdot 10^6$ чел.), Харьковская ($N^{Насел.} \approx 2,7 \cdot 10^6$ чел.) и Львовская ($N^{Насел.} \approx 2,5 \cdot 10^6$ чел.) области. Наименее заселенной является Черновицкая обл. ($N^{Насел.} \approx 0,9 \cdot 10^6$ чел.).

Для оценки взаимосвязи между показателями \bar{E}^{Tex} и $N^{Насел.}$ коэффициент корреляции представлен в виде [13]:

$$r_{\bar{E}^{Tex}, N^{Насел.}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i^{Tex} - \bar{E}^{Tex*}) (N_i^{Насел.} - N^{Насел.*})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i^{Tex} - \bar{E}^{Tex*})^2 \sum_{i=1}^n (N_i^{Насел.} - N^{Насел.*})^2}}, \quad (1)$$

где \bar{E}^{Tex*} и $N^{Насел.*}$ – среднее значение по территории Украины показателей \bar{E}^{Tex} и $N^{Насел.}$, $n = 25$ – количество регионов Украины.

Представленная на рис. 1 динамика показателей \bar{E}^{Tex} и $N^{Насел.}$ характеризуется коэффициентом корреляции $r_{\bar{E}^{Tex}, N^{Насел.}} \approx 0,77$.

Проверка значимости коэффициентов корреляции проведена на соответствие с вычисленным показателем:

$$T_{Набл.} = r_{\bar{E}^{Tex}, N^{Насел.}} \frac{\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r_{\bar{E}^{Tex}, N^{Насел.}}^2}}. \quad (2)$$

Критическая точка распределения Стьюдента ($t_{кр}(\alpha; k)$), определенная по заданному уро-

вню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = n - 2 = 23$, имеет значение $t_{кр}(\alpha; k) \approx 2,07$.

Полученные результаты расчетов $T_{Набл.}$ свидетельствуют о возможности отбросить нулевую гипотезу ($|T_{Набл.}| > t_{кр}(\alpha; k)$) и констатировать наличие устойчивой корреляции между объемами потребления регионами Украины энергии техногенного происхождения и количеством населения.

Противоположной составляющей жизнедеятельности ПТС системы является наличие в системе результата человеческой деятельности – различного рода потенциально-опасных объектов (ПОО), дестабилизирующие безопасное состояние ПТС системы.

Так, среди широкого спектра разнесенных по территории Украины объектов функционирования, по данным Государственного реестра потенциально-опасных объектов [15], фактическую опасность для нормального функционирования ПТС системы составляют 14 562 объекта ПОО – промышленные предприятия, шахты, карьеры, магистральные газо-, нефте- и продуктопроводы, гидротехнические сооружения, узловые железнодорожные станции, мосты, туннели, полигоны промышленных отходов, места хранения опасных химических веществ и т.д.

Распределение по регионам Украины количества опасных химических объектов ($K_{ПОО}^{Хим.}$), в соответствии с данными [11], и среднесуточного потребления ими объема энергии – \bar{E}^{Tex} , как интегрального показателя уровня жизнедеятельности, представлено на рис. 3.

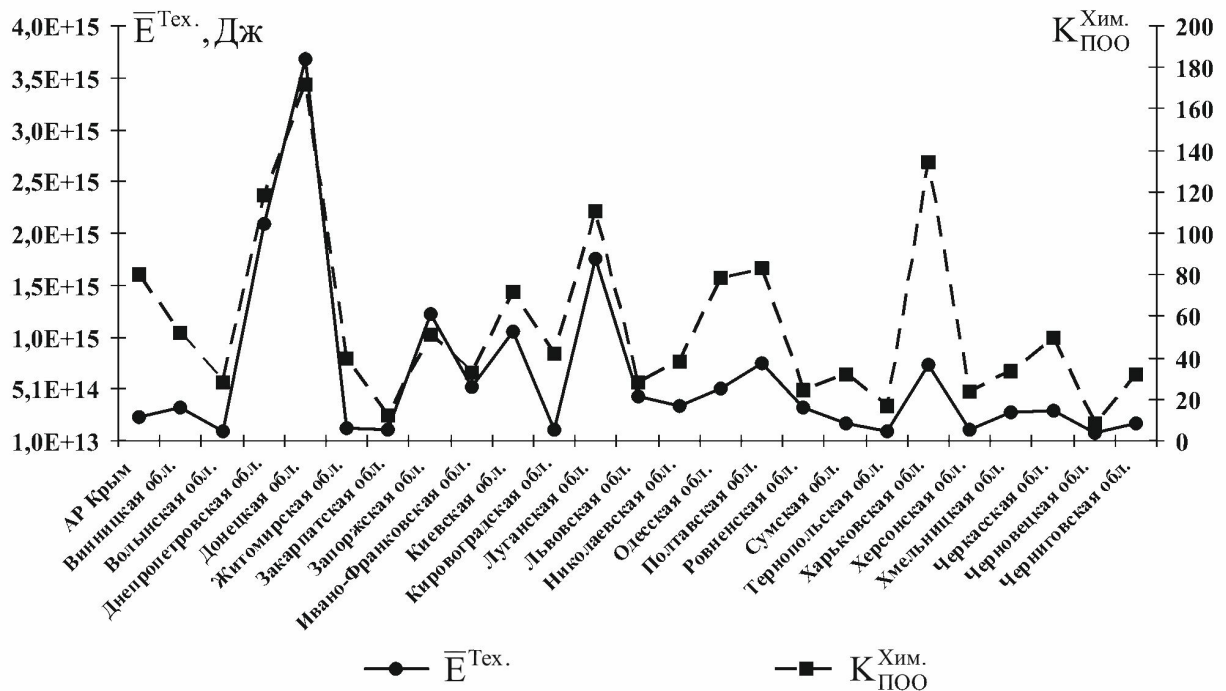


Рисунок 3 – Распределение среднесуточной энергии техногенного происхождения ($\bar{E}^{Тех.}$) и количества опасных химических объектов ($K_{ПОО}^{Хим.}$) по регионам Украины

Из рис. 3 видно, что наиболее потребляющими энергию регионом является Донецкая обл. ($\bar{E}^{Тех.} \approx 3,69 \cdot 10^{15}$ Дж), при этом среднее количество за 2004 – 2011 гг. опасных химических объектов здесь также является максимальным: $\bar{K}_{ПОО}^{Хим.} \approx 171$ объекта. Регионом, потребляющим наименьшее количество техногенной энергии, выступает Черновицкая обл. ($\bar{E}^{Тех.} \approx 8,28 \cdot 10^{13}$ Дж), в которой находится наименьшее количество опасных химических объектов – $\bar{K}_{ПОО}^{Хим.} \approx 8$ объектов. Днепропетровская ($\bar{E}^{Тех.} \approx 2,10 \cdot 10^{15}$ Дж; $\bar{K}_{ПОО}^{Хим.} \approx 118$ объектов), Луганская ($\bar{E}^{Тех.} \approx 1,76 \cdot 10^{15}$ Дж; $\bar{K}_{ПОО}^{Хим.} \approx 111$ объектов), Запорожская ($\bar{E}^{Тех.} \approx 1,22 \cdot 10^{15}$ Дж; $\bar{K}_{ПОО}^{Хим.} \approx 50$ объектов) и Харьковская ($\bar{E}^{Тех.} \approx 7,38 \cdot 10^{14}$ Дж; $\bar{K}_{ПОО}^{Хим.} \approx 134$ объекта) области также относятся к регионам с относительно высоким уровнем потребления техногенной энергии и содержанием большого количества химических ПОО.

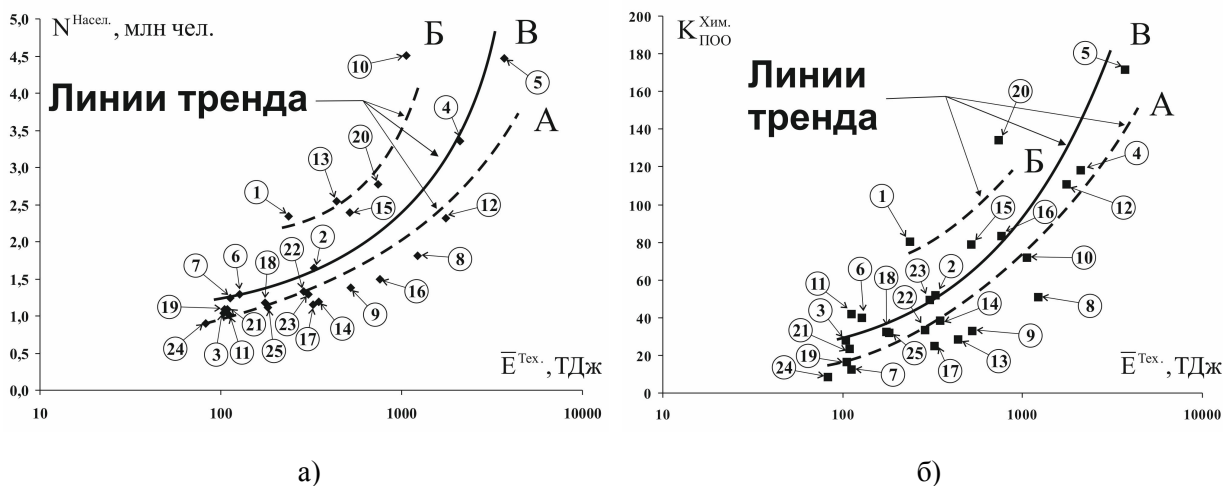
В соответствии с (1), результаты корреляционного анализа рис. 4, свидетельствуют о том, что между показателями $\bar{E}^{Тех.}$ и $K_{ПОО}^{Хим.}$ наблюдается устойчивая корреляция на уровне $r_{E^{Тех.}-K_{ПОО}^{Хим.}} \approx 0,83$. При этом выполняется условие $|T_{Набл.}| > t_{кр}(\alpha; k)$.

Взаимосвязь между территориальным распределением по Украине среднесуточной энергией техногенного происхождения ($\bar{E}^{Тех.}$) и количеством населения ($N^{Насел.}$), а также взаимосвязь между $\bar{E}^{Тех.}$ и количеством опасных химических объектов ($K_{ПОО}^{Хим.}$) показана на рис. 4.

Представленные в графическом виде (рис. 4) функциональные зависимости свидетельствуют о существовании нескольких вариантов жизнедеятельности регионов Украины.

Первый вариант (линия А) характеризуется обобщенно-усредненными показателями потребления энергии $\bar{E}^{Тех.}$, количеством населения $N^{Насел.}$ и количеством опасных химических объектов $K_{ПОО}^{Хим.}$. По данному варианту функционирует преобладающее большинство регионов. Исключение составляют некоторые регионы, социально-промышленно-энергетические ($N^{Насел.} - K_{ПОО}^{Хим.} - \bar{E}^{Тех.}$), условия жизнедеятельности в которых подчиняются второму варианту – линия Б.

Так, по динамике социально-энергетических ($N^{Насел.} - \bar{E}^{Тех.}$) показателей по второму варианту (линия Б, рис. 4а) функционируют Киевская ($N^{Насел.} \approx 4,51$ млн. чел., $\bar{E}^{Тех.} \approx 1061$ ТДж), Харьковская ($N^{Насел.} \approx 2,77$ млн. чел., $\bar{E}^{Тех.} \approx 738$ ТДж), Одесская ($N^{Насел.} \approx 2,39$ млн. чел., $\bar{E}^{Тех.} \approx 518$ ТДж), Львовская ($N^{Насел.} \approx 2,55$ млн. чел., $\bar{E}^{Тех.} \approx 438$ ТДж) области и АР Крым ($N^{Насел.} \approx 2,35$ млн. чел., $\bar{E}^{Тех.} \approx 238$ ТДж). В этих регионах численность населения превышает численность населения в регионах с аналогичным уровнем потребления энергии техногенного происхождения, которые соответствуют условиям жизнедеятельности по варианту А.



- 1 – АР Крым; 2 – Винницкая обл.; 3 – Волынская обл.; 4 – Днепропетровская обл.;
 5 – Донецкая обл.; 6 – Житомирская обл.; 7 – Закарпатская обл.; 8 – Запорожская обл.;
 9 – Ивано-Франковская обл.; 10 – Киевская обл.; 11 – Кировоградская обл.; 12 – Луганская обл.;
 13 – Львовская обл.; 14 – Николаевская обл.; 15 – Одесская обл.; 16 – Полтавская обл.;
 17 – Ровенская обл.; 18 – Сумская обл.; 19 – Тернопольская обл.; 20 – Харьковская обл.;
 21 – Херсонская обл.; 22 – Хмельницкая обл.; 23 – Черкасская обл.; 24 – Черновицкая обл.;
 25 – Черниговская обл.

Рисунок 4 – Графическая зависимость между среднесуточной энергией техногенного происхождения $\bar{E}^{Тех.}$ и количеством населения $N^{Насел.}$ (а), а также $\bar{E}^{Тех.}$ и количеством опасных химических объектов $K_{ПОО}^{Хим.}$ (б) в регионах Украины

По динамике промышленно-энергетических ($K_{ПОО}^{Хим.} - \bar{E}^{Тех.}$) показателей - по второму варианту (линия Б, рис. 4б) функционируют Харьковская ($K_{ПОО}^{Хим.} = 134$ объекта, $\bar{E}^{Тех.} \approx 738$ ТДж), Одесская ($K_{ПОО}^{Хим.} = 79$ объектов, $\bar{E}^{Тех.} \approx 518$ ТДж) области и АР Крым ($K_{ПОО}^{Хим.} = 80$ объектов, $\bar{E}^{Тех.} \approx 238$ ТДж).

В вариант В объединены массивы по которым строились линии А и Б.

Аппроксимация линий тренда реализована на интервале $\bar{E}^{Тех.} \approx 80 - 3700$ ТДж в виде степенных функций.

Так, в соответствии с линиями А, Б и В на рис. 4а аппроксимация изменения социально-энергетических ($N^{Насел.} - \bar{E}^{Тех.}$) показателей жизнедеятельности регионов Украины имеет вид:

$$N^{Насел.} = 0,22(\bar{E}^{Тех.})^{0,33} \text{ – линия А,} \quad (3)$$

$$N^{Насел.} = 0,25(\bar{E}^{Тех.})^{0,39} \text{ – линия Б,} \quad (4)$$

$$N^{Насел.} = 0,19(\bar{E}^{Тех.})^{0,37} \text{ – линия В,} \quad (5)$$

где $\bar{E}^{Тех.}$ – в ТДж (1ТДж = 10^{12} Дж),

$N^{Насел.}$ – в млн. чел.

Достоверность аппроксимации зависимости $N^{Насел.} = f(\bar{E}^{Тех.})$ регрессионными уравнениями (3) – (5) определена через коэффициент детерминации (R^2), который определяет долю разброса, учитываемого регрессией, в общем разбросе результативного признака, как [13]:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{N}_i^{Насел.} - N^{Насел.*})^2}{\sum_{i=1}^n (N_i^{Насел.} - N^{Насел.*})^2}, \quad (6)$$

где $N^{Насел.*}$ – среднее значение $N_i^{Насел.}$ ($i = 1..n$);

$\bar{N}_i^{Насел.}$ – выровненное значение показателя $N_i^{Насел.}$;

n – количество регионов Украины.

Таким образом, значения коэффициентов детерминации для линий тренда представленных на рис. 4а равны: $R^2 \approx 0,83$ (линия А); $R^2 \approx 0,65$ (линия Б); $R^2 \approx 0,69$ (линия В).

Аппроксимация изменения промышленно-энергетических ($K_{ПОО}^{Хим.} - \bar{E}^{Тех.}$) показателей жизнедеятельности регионов Украины, в соответствии с линиями А, Б и В на рис. 4б, имеет вид:

$$K_{ПОО}^{Хим.} = 1,57(\bar{E}^{Тех.})^{0,55} \text{ – линия А,} \quad (7)$$

$$K_{ПОО}^{Хим.} = 9,37(\bar{E}^{Тех.})^{0,38} \text{ – линия Б,} \quad (8)$$

$$K_{ПОО}^{Хим.} = 1,56(\bar{E}^{Тех.})^{0,57} \text{ – линия В,} \quad (9)$$

где $\bar{E}^{Тех.}$ – в ТДж, $K_{ПОО}^{Хим.}$ – в единицах объектов.

Достоверность аппроксимации зависимости $K_{ПОО}^{Хим.} = f(\bar{E}^{Тех.})$ регрессионными уравнениями (7) – (9) определена через расчет коэффициентов R^2 , в соответствии с выражением (6). Значения коэффициентов детерминации равны:

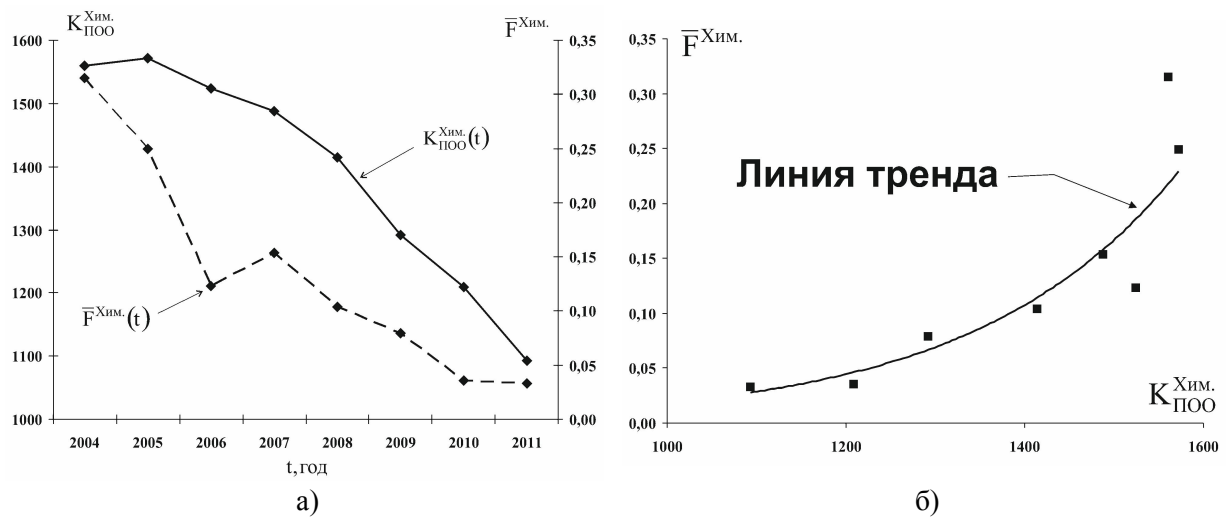


Рисунок 5 – Динамика показателей $\bar{F}^{Хим.}$ и $K_{ПОО}^{Хим.}$ в Украине за период 2004 – 2011 гг. (а) и графическая зависимость между ними (б)

$R^2 \approx 0,73$ (линия А); $R^2 \approx 0,53$ (линия Б); $R^2 \approx 0,66$ (линия В).

Анализ уровня среднесуточного риска $\bar{R}^{Хим.}$ территории Украины, с учетом ее внутренних ($N^{Насел.} - K_{ПОО}^{Хим.} - \bar{E}^{Тех.}$) свойств, проведем в соответствии с подходом:

$$\bar{R}^{Хим.} = \bar{F}^{Хим.} \cdot U^{ПУ}, \quad (10)$$

где $\bar{F}^{Хим.} = (K_{Авар.}^{Хим.} + K_{ЧС}^{Хим.})/365$ – среднесуточная частота возникновения дестабилизирующих ПТС систему ситуаций на опасных химических объектах;

$U^{ПУ}$ – прямой (в условиях непосредственного влияния опасных факторов) ущерб ПТС системы.

Оценка среднесуточной частоты возникновения дестабилизирующих ПТС систему ситуаций на опасных химических объектах проведена на анализе взаимосвязи между $\bar{F}^{Хим.}$ и $K_{ПОО}^{Хим.}$. Так, динамика показателей $\bar{F}^{Хим.}$ и $K_{ПОО}^{Хим.}$ в Украине за период 2004 – 2011 гг. (в соответствии с данными в табл. 1), а также взаимосвязь между ними, представлено на рис. 5.

Результаты корреляционного анализа рис. 5а, свидетельствуют о том, что между показателями $\bar{F}^{Хим.}$ и $K_{ПОО}^{Хим.}$ наблюдается устойчивая корреляция на уровне $r_{\bar{F}^{Хим.}, K_{ПОО}^{Хим.}} \approx 0,84$. Это позволило линию тренда на рис. 5б между показателями $\bar{F}^{Хим.}$ и $K_{ПОО}^{Хим.}$ аппроксимировать на интервале $K_{ПОО}^{Хим.} = 1100 - 1600$ объектов степенной функцией в виде:

$$\bar{F}^{Хим.} = 5 \cdot 10^{-20} (K_{ПОО}^{Хим.})^{5,82}, \quad (11)$$

где $K_{ПОО}^{Хим.}$ – в единицах объектов.

Достоверность аппроксимации зависимости $\bar{F}^{Хим.} = \phi(K_{ПОО}^{Хим.})$ регрессионным уравнением (11) определена через расчет коэффициентов R^2 , в соответствии с выражением (6). Значение коэффициента детерминации равно $R^2 \approx 0,89$.

Прямой ущерб от негативного влияния ЧС на территорию ПТС системы, в рамках представленного в [9, 10] подхода, является функциональной зависимостью от площади зоны ЧС ($S_{ЧС}$) и энергии ($E_{ЧС}$) дестабилизирующего воздействия на территорию, попавшую в зону ЧС:

$$\phi(S_{ЧС}, E_{ЧС}) \rightarrow U^{ПУ} = U^{ПНМУ} + U^{ПМУ} + U^{ПЭУ}, \quad (12)$$

где $U^{ПНМУ}$ – прямой нематериальный (социальный) ущерб;

$U^{ПМУ}$ – прямой материальный (финансовый) ущерб;

$U^{ПЭУ}$ – прямой экологический ущерб.

Оценка показателей химической опасности ($S_{ЧС}^{Хим.}$ и $E_{ЧС}^{Хим.}$) территории Украины проведена нами в рамках сопоставительного анализа статистических данных (табл. 1) по количеству населения, попавшего в зону возможного химического заражения ($N^{Насел.}$), и территориальному распределению массы опасных химических веществ ($M_{ОХВ}$) внутренним ($N^{Насел.} - K_{ПОО}^{Хим.} - \bar{E}^{Тех.}$) свойствам ПТС системы.

Так, распределение количества опасных химических объектов ($K_{ПОО}^{Хим.}$) и массы опасных химических веществ ($M_{ОХВ}$) по регионам Украины представлено на рис. 6.

Особый интерес на рис. 6 представляют Донецкая ($K_{ПОО}^{Хим.} \approx 170$ объектов; $M_{ОХВ} \approx 40$ кт) и Одесская ($K_{ПОО}^{Хим.} \approx 79$ объектов; $M_{ОХВ} \approx 98$ кт) области. Так, Донецкая обл. имеет более чем в два раза больше химических объектов чем Одесская обл., но при этом характеризуется более чем в два раза меньшим количеством нахождения опасных химических веществ.

Помимо Донецкой и Одесской областей, интересная ситуация наблюдается в Днепропетровской ($K_{ПОО}^{Хим.} \approx 118$ объектов; $M_{ОХВ} \approx 80$ кт) и Харьковской ($K_{ПОО}^{Хим.} \approx 134$ объекта;

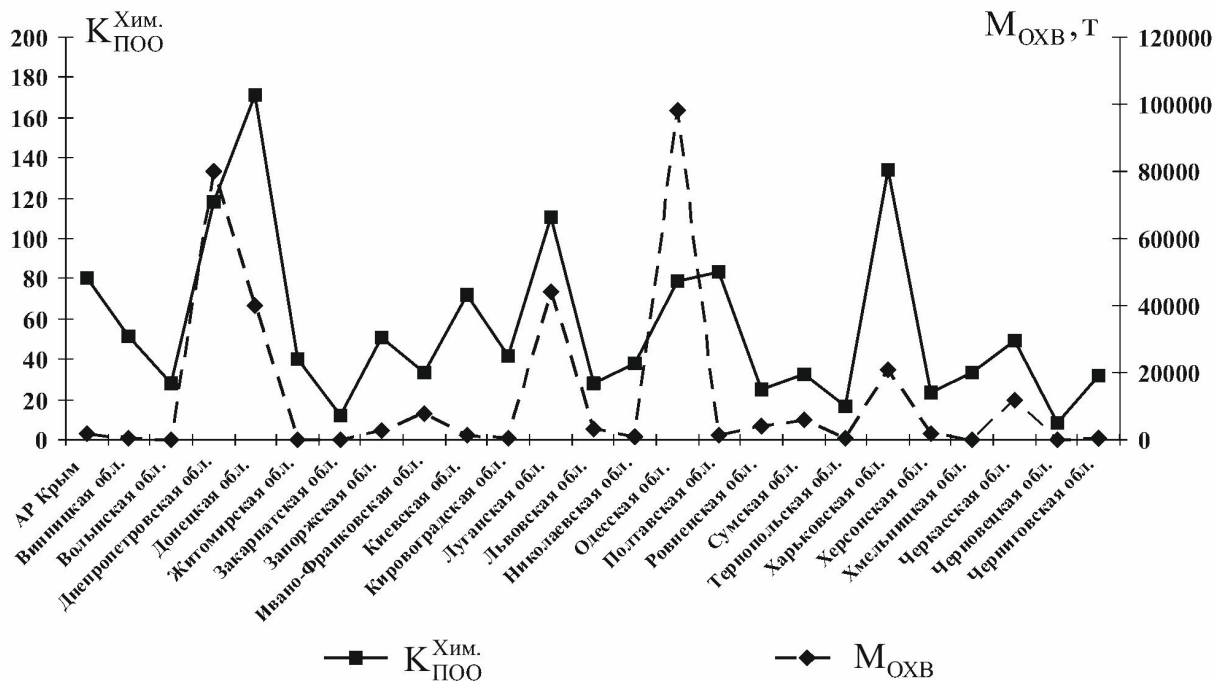


Рисунок 6 – Распределение количества опасных химических объектов ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$) и массы опасных химических веществ ($M_{\text{ОХВ}}$) по регионам Украины

$M_{\text{ОХВ}} \approx 21$ кт) областях. Так, в данных областях насчитывается приблизительно равное количество опасных химических объектов, при этом разница в количестве опасных химических веществ составляет порядка в четыре раза. Все это указывает на неравномерную загруженность функционирования опасных химических объектов.

Представленная на рис. 6 динамика показателей $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ – $M_{\text{ОХВ}}$ характеризуется, в соответствии с выражением (1), степенью корреляции на уровне $r_{K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}, M_{\text{ОХВ}}} \approx 0,60$, что обуславливается большим разбросом параметров в промышленно насыщенных регионах – Донецкая, Днепропетровская, Харьковская, Луганская и Одесская области. Это позволяет констатировать наличие взаимосвязи между данными показателями в виде, представленном на рис. 7.

Так, приведенная на рис. 7 графическая зависимость между технико-энергетическими показателями химической функциональности Украины и массой опасных химических веществ, которые обращаются в процессе химического функционирования регионов, свидетельствует, что существует два установившихся варианта протекания процессов.

Первый вариант (линия А) характеризуется установившейся для большинства регионов Украины относительной пропорциональностью между наличием массы опасных химических веществ и количеством опасных химических объектов.

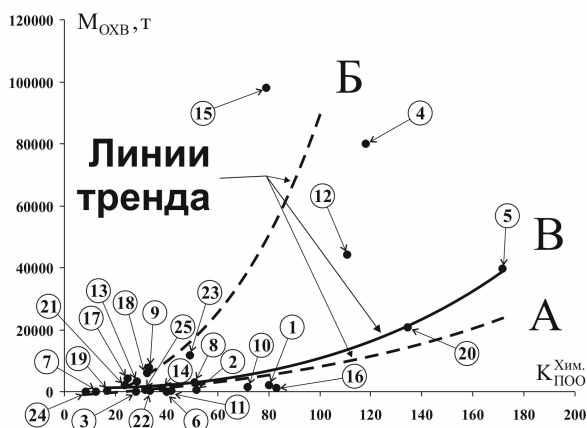


Рисунок 7 – Графическая зависимость между количеством опасных химических объектов ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$) и массой опасных химических веществ ($M_{\text{ОХВ}}$) (нумерация областей приведена в соответствии с рис. 4)

Второй вариант (линия Б) характеризуется потреблением относительно большой массы опасных химических веществ при относительно высоком значении показателя $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$. За этим сценарием функционируют Днепропетровская, Одесская и Луганская области.

В вариант В объединены массивы, по которым строились линии А и Б.

Линии тренда между показателями $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ – $M_{\text{ОХВ}}$ аппроксимированы на интервале $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 8-180$ объектов степенными функциями в виде:

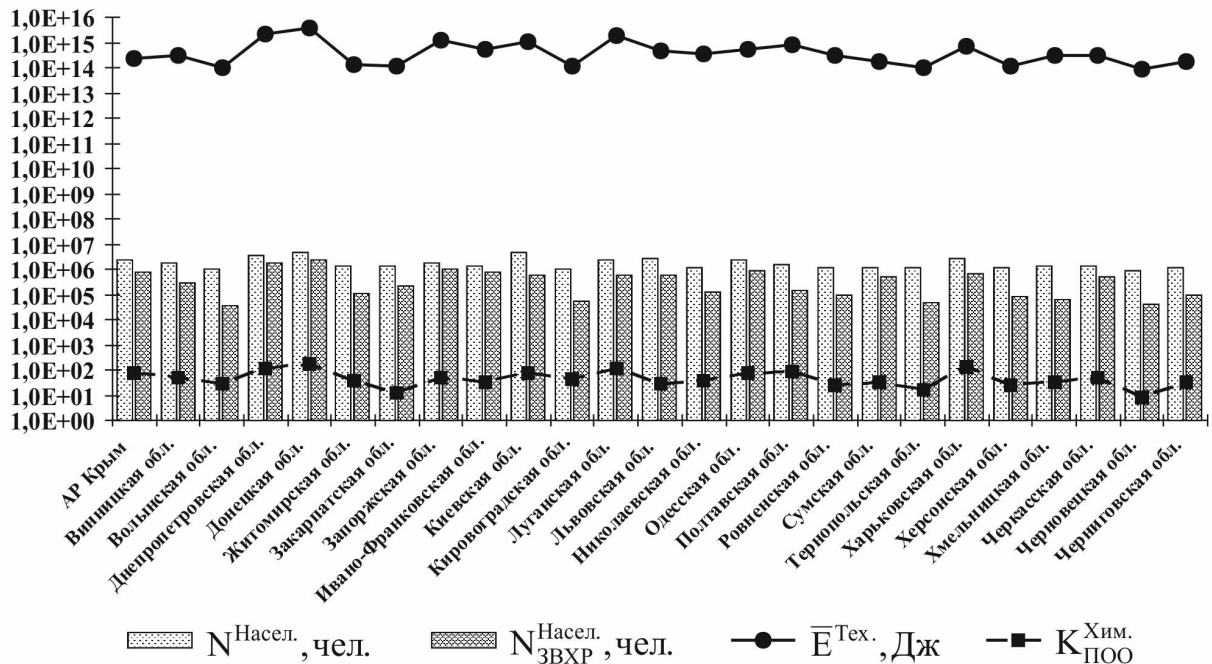


Рисунок 8 – Распределение среднесуточной энергии техногенного происхождения ($\bar{E}^{Тех.}$), количества проживающего населения ($N^{Насел.}$), количества населения, попавшего в зону возможного химического заражения ($N^{Насел.}_{ЗВХР}$), и количества опасных химических объектов ($K^{Хим.}_{ПОО}$) по регионам Украины

$$M_{ОХВ} = 2,07(K^{Хим.}_{ПОО})^{1,70} - \text{линия А}, \quad (13)$$

$$M_{ОХВ} = 9,03(K^{Хим.}_{ПОО})^{1,94} - \text{линия Б}, \quad (14)$$

$$M_{ОХВ} = 0,47(K^{Хим.}_{ПОО})^{2,20} - \text{линия В}, \quad (15)$$

где $M_{ОХВ}$ – в тоннах,

$K^{Хим.}_{ПОО}$ – в единицах объектов.

Достоверность аппроксимации зависимости $M_{ОХВ} = \xi(K^{Хим.}_{ПОО})$ регрессионными уравнениями (13) – (15) определена через расчет коэффициентов R^2 , в соответствии с выражением (6). Значения коэффициентов детерминации равны: $R^2 \approx 0,42$ (линия А); $R^2 \approx 0,99$ (линия Б); $R^2 \approx 0,52$ (линия В).

Распределение среднесуточной энергии техногенного происхождения ($\bar{E}^{Тех.}$), количества населения, проживающего в регионах ($N^{Насел.}$), количества опасных химических объектов ($K^{Хим.}_{ПОО}$) и количества населения попавшего в зону возможного химического заражения ($N^{Насел.}_{ЗВХР}$), представлено на рис. 8.

Анализ представленного на рис. 8 регионального распределения количества населения попавшего в зону возможного химического заражения свидетельствует, что наиболее опасными для жизни являются Донецкая ($N^{Насел.}_{ЗВХР} \approx 2,5$ млн. чел.) и Днепропетровская ($N^{Насел.}_{ЗВХР} \approx 1,8$ млн. чел.) области. Эти области также характеризуются высоким уровнем техногенной энергии жизнедеятельности

($\bar{E}^{Тех.} \approx [3,7 \cdot 10^{15}; 2,1 \cdot 10^{15}]$ Дж), относительно большим количеством опасных химических объектов ($K^{Хим.}_{ПОО} = [172; 118]$ объекта) и количеством проживающего населения ($N^{Насел.} \approx [4,4 \cdot 10^6; 3,3 \cdot 10^6]$ чел.) – см. рис. 2 – 4.

Опасными также являются

АР Крым

($N^{Насел.}_{ЗВХР} \approx 2,5$ млн. чел.; $\bar{E}^{Тех.} \approx 2,4 \cdot 10^{14}$ Дж;

$K^{Хим.}_{ПОО} = 80$ объектов; $N^{Насел.} \approx 2,3$ млн. чел.),

Запорожская

($N^{Насел.}_{ЗВХР} \approx 0,9$ млн. чел.; $\bar{E}^{Тех.} \approx 1,2 \cdot 10^{15}$ Дж;

$K^{Хим.}_{ПОО} = 51$ объект; $N^{Насел.} \approx 1,8$ млн. чел.),

Луганская

($N^{Насел.}_{ЗВХР} \approx 0,6$ млн. чел.; $\bar{E}^{Тех.} \approx 1,8 \cdot 10^{15}$ Дж;

$K^{Хим.}_{ПОО} = 110$ объектов; $N^{Насел.} \approx 2,3$ млн. чел.),

Одесская

($N^{Насел.}_{ЗВХР} \approx 0,9$ млн. чел.; $\bar{E}^{Тех.} \approx 5,2 \cdot 10^{14}$ Дж;

$K^{Хим.}_{ПОО} = 79$ объектов; $N^{Насел.} \approx 2,4$ млн. чел.)

и Харьковская области

($N^{Насел.}_{ЗВХР} \approx 0,6$ млн. чел.; $\bar{E}^{Тех.} \approx 7,4 \cdot 10^{14}$ Дж;

$K^{Хим.}_{ПОО} = 134$ объекта; $N^{Насел.} \approx 2,7$ млн. чел.).

Представленные на рис. 8 динамики показателей $K^{Хим.}_{ПОО} - N^{Насел.}_{ЗВХР}$ и $N^{Насел.} - N^{Насел.}_{ЗВХР}$ характеризуется, в соответствии с выражением (1), степенями корреляции на уровне: $r_{K^{Хим.}_{ПОО} N^{Насел.}_{ЗВХР}} \approx 0,79$ и $r_{N^{Насел.} N^{Насел.}_{ЗВХР}} \approx 0,78$, что обуславливается большим разбросом параметров

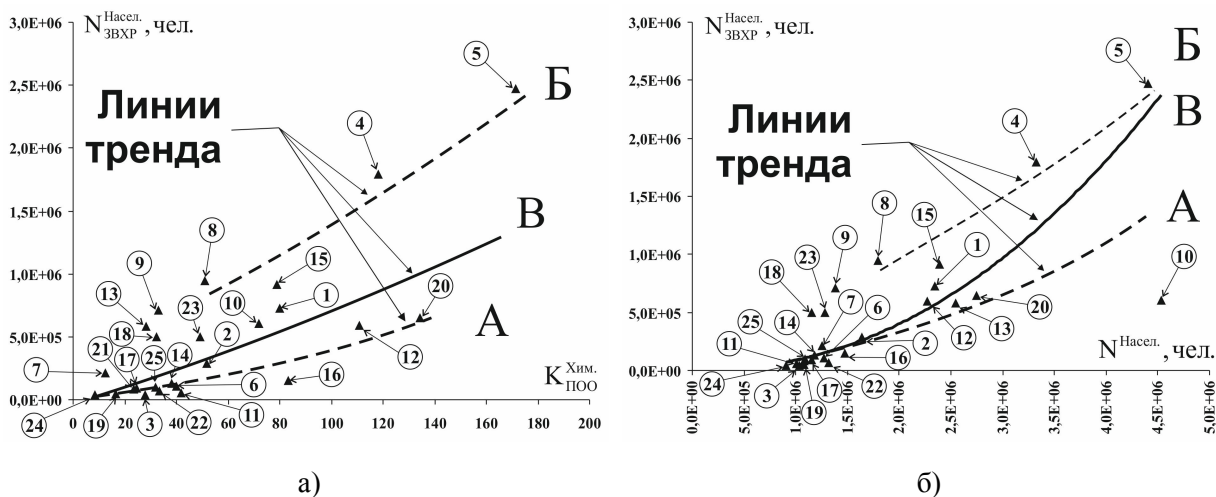


Рисунок 9 – Графическая зависимость между количеством опасных химических объектов $K_{\text{Хим.ПОО}}$ и количеством населения попавшего в зону возможного химического заражения $N_{\text{ЗВХП}}$ (а), а также между количеством проживающего населения $N_{\text{Насел.}}$ и $N_{\text{ЗВХП}}$ (б) (нумерация областей наведена в соответствии с рис. 4)

в промышленно насыщенных регионах – Донецкая, Днепропетровская, Харьковская, Луганская и Одесская области. Результат корреляционного анализа позволяет констатировать наличие взаимосвязи между данными показателями в виде, представленном на рис. 9.

Приведенные на рис. 9 графические зависимости между $K_{\text{Хим.ПОО}} - N_{\text{ЗВХП}}$ и $N_{\text{Насел.}} - N_{\text{ЗВХП}}$ показателями в Украине свидетельствуют, что также существует несколько сценариев жизнедеятельности.

Первый вариант (линии А) характеризуется установившейся для большинства регионов Украины относительной пропорциональностью между $K_{\text{Хим.ПОО}} - N_{\text{ЗВХП}}$ и $N_{\text{Насел.}} - N_{\text{ЗВХП}}$ показателями.

Второй вариант (линии Б) характеризуется относительно большим количеством населения попавшего в зону возможного химического заражения при условии наличия в регионе большого количества $K_{\text{Хим.ПОО}}$ (рис. 9а) или при условии проживания в регионе относительно большого количества населения (рис. 9б). За этими сценариями функционируют Донецкая, Днепропетровская, Одесская и Запорожская области.

В вариант В объединены массивы по которым строились линии А и Б.

Эти линии тренда на интервале $K_{\text{Хим.ПОО}} = 8 - 180$ объектов аппроксимированы следующими степенными функциями:

$$N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = 6,24 \cdot 10^3 (K_{\text{Хим.ПОО}}^{\text{Хим.ПОО}})^{0,93} - \text{линия А, (16)}$$

$$N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = 26,46 \cdot 10^3 (K_{\text{Хим.ПОО}}^{\text{Хим.ПОО}})^{0,87} - \text{линия Б, (17)}$$

$$N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = 2,68 \cdot 10^3 (K_{\text{Хим.ПОО}}^{\text{Хим.ПОО}})^{1,21} - \text{линия В, (18)}$$

где $N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}}$ – в чел.,

$K_{\text{Хим.ПОО}}$ – в единицах объектов.

Достоверность аппроксимации зависимости $N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = \gamma (K_{\text{Хим.ПОО}}^{\text{Хим.ПОО}})$ регрессионными уравнениями (16) – (18) определена через расчет коэффициентов R^2 в соответствии с выражением (6). Значения коэффициентов детерминации равны: $R^2 \approx 0,36$ (линия А); $R^2 \approx 0,86$ (линия Б); $R^2 \approx 0,51$ (линия В).

Функциональная аппроксимация зависимости $N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} - N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}}$ на интервале $N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = 0,9 - 4,5$ млн чел. имеет вид:

$$N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = 3 \cdot 10^{-7} (N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}})^{1,92} - \text{линия А, (19)}$$

$$N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = 3 \cdot 10^{-2} (N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}})^{1,18} - \text{линия Б, (20)}$$

$$N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = 8 \cdot 10^{-9} (N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}})^{2,17} - \text{линия В, (21)}$$

где $N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}}$ и $N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}}$ – в чел.

Достоверность аппроксимации зависимости $N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}} = \gamma (N_{\text{ЗВХП}}^{\text{Насел.}})$ регрессионными уравнениями (19) – (21) определена через расчет коэффициентов R^2 , в соответствии с выражением (6). Значения коэффициентов детерминации равны: $R^2 \approx 0,54$ (линия А); $R^2 \approx 0,89$ (линия Б); $R^2 \approx 0,67$ (линия В).

Оценка эффективности системы безопасности в режиме ликвидации последствий химических аварий на территории Украины проведена нами в рамках сопоставительного анализа между данными о численности аварийно-спасательных отрядов специального назначения (АСО СН), полученных в рамках научно-исследовательской работы [15], и количеством опасных химических объектов и количеством населения, попавшего в зону возможного химического заражения.

Так, распределение численности АСО СН ($N_{\text{АСОСН}}$), количества опасных химических объектов ($K_{\text{Хим.ПОО}}$) и количества населения, попав-

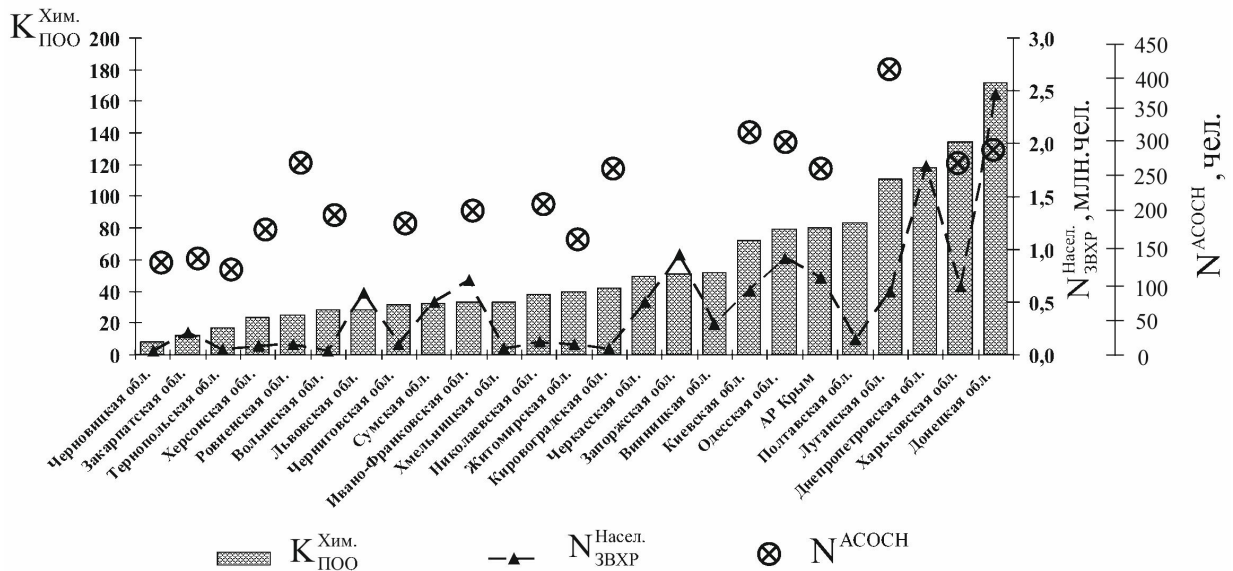


Рисунок 10 – Распределение количества опасных химических объектов ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$), попавшего в зону возможного химического заражения ($N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$) количества населения и численности аварийно-спасательных отрядов специального назначения ($N^{\text{АСОСН}}$) по регионам Украины. При комплектовании и формировании структуры подразделений АСО СН в основном соблюдается принцип пропорциональности во всех регионах ПТС системы

шего в зону возможного химического заражения ($N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$) по регионам Украины, представлено на рис. 10.

Результаты корреляционного анализа рис. 10, свидетельствуют о том, что между показателями $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ и $N^{\text{АСОСН}}$ наблюдается корреляция на уровне $r_{K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}, N^{\text{АСОСН}}} \approx 0,68$. Критическая точка распределения Стьюдента ($t_{\text{кр}}(\alpha; k)$), определенная по заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = 18 - 2 = 16$, имеет значение порядка $t_{\text{кр}}(\alpha; k) \approx 2,12$. Полученные результаты расчетов $|T_{\text{Набл.}}| \approx 3,71 > t_{\text{кр}}(\alpha; k)$ свидетельствуют о наличии взаимосвязи между данными показателями в виде, представленном на рис. 11, где видно, что по количеству опасных химических объектов и численностью аварийно-спасательных отрядов специального назначения регионы Украины можно условно разделить на несколько уровней.

Так, к первому уровню относятся регионы с минимальными значениями показателей $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ и $N^{\text{АСОСН}}$, а именно: Черновицкая ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 9$ объектов; $N^{\text{АСОСН}} = 138$ чел.); Закарпатская ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 13$ объектов; $N^{\text{АСОСН}} = 139$ чел.) и Тернопольская ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 17$ объектов; $N^{\text{АСОСН}} = 136$ чел.) области.

Ко второму уровню относится преобладающее большинство регионов Украины. В этих регионах количество опасных химических объектов попадает в интервал $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 20 - 50$ объектов, а численность

АСО СП попадает в интервал $N^{\text{АСОСН}} = 130 - 260$ чел.

Третий и четвертый уровни характеризуются промышленно загруженными регионами.

Так, к третьему уровню относятся такие регионы, как: Одесская обл. ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 79$ объектов; $N^{\text{АСОСН}} = 318$ чел.), Киевская обл. ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 72$ объекта; $N^{\text{АСОСН}} = 323$ чел.) и АР Крым ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 80$ объектов; $N^{\text{АСОСН}} = 260$ чел.).

К четвертому уровню относятся такие крупные промышленные регионы, как: Донецкая ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 172$ объекта; $N^{\text{АСОСН}} = 285$ чел.); Харьковская ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 134$ объекта; $N^{\text{АСОСН}} = 270$ чел.) и Луганская ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 111$ объектов; $N^{\text{АСОСН}} = 420$ чел.).

Линия тренда приведенной на рис. 11 графические зависимости между $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ – $N^{\text{АСОСН}}$ на интервале $K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}} = 8 - 180$ объектов аппроксимирована степенной функцией в виде:

$$N^{\text{АСОСН}} = 65,33(K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}})^{0,32}, \quad (22)$$

где $N^{\text{АСОСН}}$ – в чел.,

$K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ – в единицах объектов.

Достоверность аппроксимации зависимости $N^{\text{АСОСН}} = \eta(K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}})$ регрессионным уравнением (21) определена через расчет коэффициентов R^2 , в соответствии с выражением (6). Значение коэффициента детерминации равно $R^2 \approx 0,57$.

Таблиця 4 – Распределение показателя опасности жизнедеятельности по регионам Украины в условиях функционирования опасных химических объектов и аварийно-спасательных отрядов специального назначения

Регион	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
$K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ *	56 объектов																								
$\tilde{K}_{\text{ПОО}_i}^{\text{Хим.}}$	1,44	0,93	0,50	2,12	3,08	0,72	0,22	0,91	0,59	1,29	0,75	1,99	0,51	0,69	1,42	1,49	0,44	0,58	0,30	2,41	0,42	0,60	0,88	0,15	0,57
$N^{\text{АСОСН}}$ *	227 чел.																								
$\tilde{N}_i^{\text{АСОСН}}$	1,15	—	0,90	—	1,26	0,72	0,61	0,58	0,87	1,43	1,15	1,85	—	0,94	1,40	—	1,16	—	0,60	1,19	0,77	—	—	0,61	0,81
$Z_i^{\text{Хим.}}$	0,25	—	-0,44	—	1,44	0	-0,64	0,57	-0,32	-0,10	-0,35	0,08	—	-0,27	0,01	—	-0,62	—	-0,50	1,03	-0,45	—	—	-0,75	-0,30

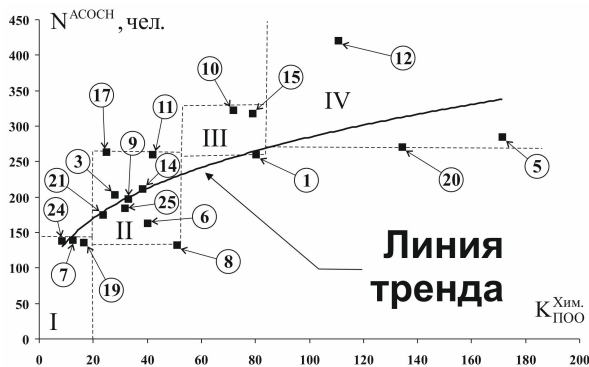


Рисунок 11 – Графическая зависимость между количеством опасных химических объектов ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$) и численностью аварийно-спасательных отрядов специального назначения ($N^{\text{АСОСН}}$) (нумерация областей приведена в соответствии с рис. 4)

В качестве критерия эффективности системы безопасности предлагается использовать показатель опасности жизнедеятельности (в идеальном случае $Z = 0$), который при условии функционирования опасных химических объектов имеет вид:

$$Z_i^{\text{Хим.}} = \frac{\tilde{K}_{\text{ПОО}_i}^{\text{Хим.}}}{\tilde{N}_i^{\text{АСОСН}}} - 1, \quad (23)$$

где $\tilde{K}_{\text{ПОО}_i}^{\text{Хим.}} = K_{\text{ПОО}_i}^{\text{Хим.}} / K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$;

$\tilde{N}_i^{\text{АСОСН}} = N_i^{\text{АСОСН}} / N^{\text{АСОСН}}$;

$K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$ – среднее значение показателей $K_{\text{ПОО}_i}^{\text{Хим.}}$;

$N^{\text{АСОСН}}$ – среднее значение показателей $N_i^{\text{АСОСН}}$;

$i = 1 \dots n$;

n – количество регионов Украины.

Распределение показателя $Z_i^{\text{Хим.}}$ по регионам Украины представлено в табл. 4.

Как видно из табл. 4, наиболее близкими к эффективной ($Z_i^{\text{Хим.}} \rightarrow 0$) являются системы безопасности организованы в Житомирской ($Z_i^{\text{Хим.}} = 0$), Луганской ($Z_i^{\text{Хим.}} = 0,08$) и Киевской ($Z_i^{\text{Хим.}} = -0,10$) областях. В остальных регионах системы безопасности организованы либо с высокой степенью резервирования потенциала ($Z_i^{\text{Хим.}} < 0$), либо с недостачей потенциала ($Z_i^{\text{Хим.}} > 0$).

Использование такого подхода позволит рационализировать территориальное размещение центров мониторинга предшествующих факторов опасностей, центров сбора и обработки фактической информации, прогнозирования ЧС, и разработки антикризисных решений, а также пожарно-спасательных и аварийно-спасательных подразделов, с целью разработки эффективной системы мониторинга, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, и обеспечение экологической безопасности.

В заключении, необходимо указать, что общая методология оценки химической опасности, которая представлена в работе на примере рис. 4, 5, 7, 9 и 11 (графические зависимости между среднесуточной энергией техногенного происхождения ($\bar{E}^{\text{Тех.}}$), количеством проживающего населения ($N^{\text{Насел.}}$), количеством опасных химических объектов ($K_{\text{ПОО}}^{\text{Хим.}}$), частотой возникновения аварийной ситуации ($\bar{F}^{\text{Хим.}}$), количеством населения, попавшего в зону возможного химического заражения ($N_{\text{ЗВХР}}^{\text{Насел.}}$), и численностью аварийно-спасательных отрядов специального назначения ($N^{\text{АСОСН}}$) и их математические аппроксимации в виде выражений (3) – (5), (7) – (9) (11), (13) – (22), являются основой для разработки комплексной схемы мероприятий для обеспечения соответствующего уровня безопасности от техногенных опасностей различной природы в Украине.

Выводы

В работе обоснована эффективность энергетического подхода для оценки уровня опасности жизнедеятельности территории Украины в условиях функционирования опасных химических объектов и возникновения, вследствие их функционирования, чрезвычайных ситуаций техногенного характера.

На основе анализа характера изменения энергетических параметров функционирования опасных химических объектов и их негативного влияния на социальную составляющую природно-техногенно-социальной системы разработан системный подход и принцип оценки химической опасности территории Украины.

Получены регрессионные зависимости между характерными для территории Украины показателями: среднесуточной энергии техногенного происхождения, количеством проживающего населения, количеством опасных химических объектов, частотой возникновения аварийных ситуаций и количеством населения, попавшего в зону возможного химического заражения.

Представленный подход для оценки химической опасности территории Украины и полученные аналитические выражения являются основой для проведения дальнейших исследований, которые направлены на разработку эффективной системы мониторинга и противодействия ЧС техногенного характера в Украине.

Литература

- 1 Черногор Л.Ф. Физика и экология катастроф / Л.Ф. Черногор – Х.: ХНУ имени 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 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.
- 4 Тютюник В.В. Основні принципи інтегральної системи безпеки при надзвичайних ситуаціях / В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // 36. наук. праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2008. – Вип. 3(18). – С. 179 – 180.
- 5 Питулько В.М. Научное обеспечение управлением риска аварий и катастроф / В.М. Питулько // Инженерная экология. – 1996. – № 3. – С. 36 – 44.
- 6 Кондратьев В.Д. Комплексная оценка уровня риска опасного объекта / В.Д. Кондратьев, А.В. Толстых, Б.К. Уандыков, А.В. Щепкин // Системы управления и информац. технологий. – 2004. – № 3(15). – С. 53 – 57.
- 7 Андронов В.А. Комплексні показники оцінювання стану природно-техногенної небезпеки адміністративно-територіальних одиниць України / В.А. Андронов, Ю.П. Бабков, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУЦЗУ, 2010. – Вип. 12. – С. 9 – 20.
- 8 Кіроцькі О.Ю. Оцінка багатокритеріальної методики аналізу хімічно небезпечного стану об'єктів та регіонів України / О.Ю. Кіроцькі, М.М. Мурін, В.В. Тютюник, Р.І. Шевченко // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: УЦЗУ, 2007. – Вип. 6. – С. 62 – 73.
- 9 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.: НУЦЗУ, 2011. – Вип. 14. – С. 171 – 194.
- 10 Калугін В.Д. Системний підхід до оцінки ризиків надзвичайних ситуацій в Україні / В.Д. Калугін, В.В. Тютюник, Л.Ф. Черногор, Р.І. Шевченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 1/6 (55). – С. 59 – 70.
- 11 Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua>
- 12 Паливно-енергетичні ресурси України: Статистичний збірник. – К.: Державний комітет статистики України, 2009. – 443 с.
- 13 Кибзун А.И. Теория вероятностей и математическая статистика. Базовый курс с примерами и задачами / А.И. Кибзун, Е.Р. Горянова, А.В. Наумов, А.Н. Сиротин – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 224 с.
- 14 Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2009 році. – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. – 383 с.
- 15 Аналіз та розроблення науково-обґрунтованих пропозицій щодо оптимізації структур загонів, органів і підрозділів цивільного захисту: звіт про НДР / керівник роботи: О.М. Соболев; виконавці: О.В. Альбошій; Р.І. Шевченко; М.М. Кулешов; А.С. Рогозін; В.В. Тютюник [та ін.] – Х.: НУЦЗУ, 2010. – 294 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії
21.05.13

Рекомендована до друку
професором **Семчуком Я.М.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Сотніковим О.М.**
(Науковий Центр Повітряних Сил
Харківського університету Повітряних Сил
імені Івана Кожедуба, м. Харків)