

УДК 502.5+614.7:0.49.3

*Г. Д. Коваленко, А. В. Хабарова**Научно-исследовательское учреждение “Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем” (НИУ “УКРНИИЭП”), г. Харьков***ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ СЖИГАНИИ КАМЕННОГО УГЛЯ НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ УКРАИНЫ**

В статье использован комплексный подход оценки экологических рисков для населения от химических и радиоактивных веществ при нормальной эксплуатации тепловых электростанций (ТЭС) Украины. Проведен анализ данных о количестве неканцерогенных, канцерогенных и радиоактивных веществ в выбросах в атмосферный воздух ТЭС. Приведена комплексная оценка экологического риска для населения от выбросов химических и радиоактивных веществ в атмосферный воздух при сжигании угля на ТЭС.

**Ключевые слова:** тепловая электростанция; неканцерогенные, канцерогенные и радиоактивные вещества; экологический риск.

Воздействие ТЭС на население обусловлено выбросами в атмосферу на этапе сжигания каменного угля, и зависит от типа и объемов потребляемого топлива, способов его использования и эффективности очистки выбросов [1, 2].

ТЭС выбрасывают в окружающую среду летучую золу, бенз(а)пирен (наиболее токсичный среди полициклических ароматических углеводородов), а также газообразные вещества (сернистый ангидрид, оксиды азота и оксид углерода) [3]. Летучая зола содержит тяжелые металлы (ванадий, цинк, свинец, медь, ртуть, кадмий, хром, никель, мышьяк) [4], а также естественные радионуклиды (ЕРН) семейства урана и тория [5].

Особую опасность для здоровья представляют тяжелые металлы и ЕРН, обладающие канцерогенными свойствами и способные вызывать онкологические заболевания, и газообразные вещества, оказывающие токсичное воздействие на организм человека [6].

Для оценки экологического риска важно учесть вклад, обусловленный действием как канцерогенных, так и неканцерогенных веществ, которые обладают токсичностью.

Основной потенциал тепловой электроэнергетики Украины составляют крупные ТЭС Украины мощностью более 300 МВт: Угледорская, Старобешевская, Кураховская, Славянская, Зуевская (Донецкая обл.); Приднепровская, Криворожская (Днепропетровская обл.); Луганская (Луганская обл.), Добротворская (Львовская обл.), Бурштынская (Ивано-Франковская обл.), Запорожская (Запорожская обл.), Ладзыжинская (Винницкая обл.), Трипольская (Киевская обл.) и Змиевская (Харьковская обл.), которые в качестве основного топлива используют каменный уголь.

Все ТЭС являются источниками загрязнения окружающей среды и объектами повышенного экологического риска [7, 8].

Оценка экологического риска для здоровья населения широко признана во всем мире. Следует отметить, что здоровье населения, рассматривается как системообразующий фактор социально-экономического развития общества, а показатель риска характеризует степень ущерба, наносимого окружающей среде и здоровью населения вредными факторами различной природы [9—13]. В статье рассматриваются экологические риски для населения при воздействии химических и радиоактивных выбросов ТЭС [14, 15].

Отсутствие исследований воздействия полного покомпонентного состава выбросов ТЭС в атмосферный воздух в процессе сжигания каменного угля обуславливает необходимость проведения оценки экологического риска.

В статье используется термин “экологический риск” как вероятность возникновения неблагоприятных эффектов для здоровья населения вследствие загрязнения окружающей природной среды химическими и радиоактивными веществами [14, 15].

**Методологический подход к оценке экологического риска.** В настоящее время в Украине не существует общепризнанного и утвержденного на законодательном уровне метода оценки экологического риска для населения при нормальном режиме эксплуатации тепловой электроэнергетики.

Концептуальный подход к оценке экологического риска включает в себя два элемента — оценку риска и управление риском [11, 13, 16, 17].

Основными этапами процедуры оценки экологического риска для населения при нормальной эксплуатации ТЭС являются [14—18]:

первый этап — идентификация опасности — подразумевает выявление опасности, установление источников и факторов экологического риска (химических и радиационных), а также зон распространения риска;

второй этап — оценка экспозиции — заключается в оценивании реального влияния факторов экологического риска на население;

третий этап — оценка зависимости “доза—эффект” — связан с анализом влияния факторов риска и определением устойчивости окружающей среды относительно воздействия химических и радиационных факторов;

четвертый, заключительный этап — характеристика риска — включает анализ и обобщение информации о качественных и количественных параметрах, использованных на предыдущих этапах, а также устанавливаются источники возникновения и степени выраженности рисков при конкретных сценариях и маршрутах воздействия факторов экологического риска.

Основной целью управления экологическим риском для здоровья населения при нормальной эксплуатации ТЭС является выявление путей снижения риска при заданных ограничениях на ресурсы и время.

В основе подхода комплексной оценки экологического риска для здоровья населения, предлагаемого авторами в статье, используется вероятностный подход для определения ожидаемого числа дополнительных случаев возникновения стохастических эффектов при фактических выбросах химических и радиоактивных веществ ТЭС, взятых из [19, 20].

Согласно закону Габера [21], вероятность возникновения отдаленных последствий для здоровья человека, т. е. серьезность возникшего заболевания, пропорциональна концентрации химического вещества  $c$  и времени воздействия химического вещества  $t$ .

В соответствии с данным законом, концентрации химических веществ, рассчитанные за определенный промежуток времени могут быть использованы для воздействия химических веществ [22].

Считается, что экологический риск  $r$ , обусловленный воздействием на население неканцерогенных, канцерогенных и радиоактивных веществ, находящихся в окружающей природной среде, зависит от их количества, поступившего в организм человека:

$$r = f(D), \quad (1)$$

где  $f(D)$  — функция от дозы вещества, поступившего в организм человека.

Предполагается, что в области малых доз соотношение между дозой химического вещества  $D_{ch}$  и реакцией на нее является линейным [22], а действие неканцерогенных и канцерогенных химических веществ не имеет порога. Тогда дополнительный риск, устанавливаемый для всей продолжительности жизни индивидуума, или количество дополнительных случаев заболеваний, ведущих к смерти населения, может быть рассчитан с учетом коэффициентов

неканцерогенного риска на единицу дозы для населения, постоянно проживающего в районе эксплуатации ТЭС.

Принимая гипотезу о линейном беспороговом характере зависимости “доза—эффект” в области малых доз, формула (1) для оценивания дополнительного риска [21] принимает следующий вид:

$$r(D_{ch}) = F_{D_{ch}} \cdot c \cdot v \cdot t, \quad (2)$$

где  $D_{ch}$  — доза химического вещества, мг;  $F_{D_{ch}}$  — коэффициент риска, пропорциональный наклону кривой “доза—эффект”, как показано в [14, 15, 21, 22], отражающий степень нарастания риска с увеличением воздействующей дозы химического вещества на одну единицу дозы,  $\text{мг}^{-1}$ ;  $c$  — концентрация химического вещества,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $v=8,10 \cdot 10^3$  — интенсивность поступления вдыхаемого человеком воздуха, содержащего неканцерогенные вещества,  $\text{м}^3/\text{год}$ ;  $t$  — время, в течение которого неканцерогенные и канцерогенные химические вещества поступали в организм человека, годы.

В [11, 13, 16, 21] установлено и авторами принимается уровень приемлемого риска для неканцерогенных химических веществ —  $10^{-6}$  за год, для канцерогенных химических веществ и ЕРН —  $10^{-5}$  за год [17, 24—27].

Исходя из предположения о том, что в отношении к среднесуточным предельно-допустимым концентрациям (ПДК<sub>сс</sub>) [23] годовое поступление вещества в организм дает определенный прирост дополнительных случаев тяжелых последствий для здоровья населения [22], формула для расчета коэффициента

Таблица 1. Коэффициенты экологического риска при воздействии химических веществ

Для неканцерогенных веществ	
Вещество	$F_{D_{ch}}^{\text{ncanc}}$ , $\text{мг}^{-1}$
SO <sub>2</sub>	$1,54 \cdot 10^{-9}$
NO <sub>x</sub>	$3,09 \cdot 10^{-9}$
CO	$4,11 \cdot 10^{-11}$
Твердые частицы	$8,23 \cdot 10^{-10}$
Hg	$4,11 \cdot 10^{-8}$
Zn	$1,37 \cdot 10^{-6}$
Cu	$6,17 \cdot 10^{-6}$
V	$1,76 \cdot 10^{-6}$
Pb	$8,23 \cdot 10^{-7}$
Для канцерогенных веществ	
Вещество	$F_{D_{ch}}^{\text{canc}}$ , $\text{мг}^{-1}$
Ni	$5,09 \cdot 10^{-7}$
As	$8,39 \cdot 10^{-6}$
Бенз(а)пирен	$1,73 \cdot 10^{-6}$
Cr	$2,35 \cdot 10^{-5}$
Cd	$3,52 \cdot 10^{-6}$

риска  $F_{D_{ch}}^{ncanc}$  для неканцерогенних хімічних речовин на одиницю дози приймає вигляд

$$F_{D_{ch}}^{ncanc} = \frac{10^{-6}}{ПДК_{cc} \cdot v}, \quad (3)$$

де  $ПДК_{cc}$  — середнесуточна предельно-допустима концентрація, мг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнти екологічного ризику для досліджуваних неканцерогенних хімічних речовин  $F_{D_{ch}}^{ncanc}$  розраховані авторами статті за формулою (3). Коефіцієнти ризику для канцерогенних хімічних речовин  $F_{D_{ch}}^{canc}$  взяті з [16, 23] і перераховані для розмірності [мг<sup>-1</sup>] (табл. 1).

Індивідуальна доза при впливі хімічного речовини  $D_{ch}^{инд}$  визначається произведенням концентрації хімічного речовини  $c$ , інтенсивності надходження вдихаємого повітрям людини  $v$  і повним часом його надходження  $t$ . З урахуванням вищезазначеного, можна сказати, що формула (2) для розрахунку екологічного ризику приймає вигляд

$$r_{ch} = F_{D_{ch}} \cdot D_{ch}^{инд}, \quad (4)$$

де  $r_{ch}$  — ймовірність виникнення стохастических ефектів при впливі неканцерогенних і канцерогенних хімічних речовин, приведена до одного року експозиції.

Очікуване кількість додаткових випадків виникнення стохастических ефектів для населення при впливі хімічного речовини  $R_{ch}$  визначається як

$$R_{ch} = F_{D_{ch}} \cdot D_{ch}^{кол}, \quad (5)$$

де  $D_{ch}^{кол} = D_{ch}^{инд} \cdot \rho \cdot S$  — колективна доза при впливі хімічного речовини, чел.-мг;  $\rho$  — густина населення, чел./км<sup>2</sup>;  $S$  — площа заселення, км<sup>2</sup>.

МКРЗ [25] і НКДАР ООН [26], звертаючи увагу на концепцію лінійної безпорогової моделі, вважають, що будь-яка доза, відрізняючись від нуля, пов'язана з ризиком.

Радиаційний ризик  $r_r$ , як ймовірність індукції стохастических ефектів (виникнення онкологічних захворювань і серйозних спадкових ефектів від радіаційного облучення) на одиницю дози ЕРН, визначається за формулою [24—26]

$$r_r = F_{D_r} \cdot D_r^{инд}, \quad (6)$$

де  $D_r^{инд}$  — індивідуальна ефективна еквівалентна доза, Зв;  $F_{D_r}$  — коефіцієнт пропорційності, що визначає нахил кривої «доза—ефект»

від впливу іонізуючого випромінювання, що відображає ступінь наростання ризику з збільшенням впливаючої дози на одну одиницю, Зв<sup>-1</sup>.

Очікуване кількість випадків стохастических ефектів від впливу іонізуючого випромінювання в популяції визначається співвідношенням [24—26]

$$R_r = F_{D_r} \cdot D_r^{кол}, \quad (7)$$

де  $D_r^{кол} = D_r^{инд} \cdot \rho \cdot S$  — колективна ефективна еквівалентна доза, чел.-Зв.

Відповідно до публікації МКРЗ [25] загальний збиток є комплексною величиною, яка відображає ймовірність розвитку онкологічних захворювань і серйозних спадкових ефектів у всій популяції.

Коефіцієнт ризику виникнення стохастических ефектів для населення  $F_{D_r}$  дорівнює  $5,7 \cdot 10^{-2}$  Зв<sup>-1</sup> (для онкологічних захворювань —  $5,5 \cdot 10^{-2}$  Зв<sup>-1</sup>, для серйозних спадкових ефектів —  $0,2 \cdot 10^{-2}$  Зв<sup>-1</sup>) [25].

Приведений підхід оцінки екологічного ризику дозволить у комплексі оцінити радіаційну і хімічну складову в реалізації екологічного ризику за єдиними показателями ймовірності стохастических ефектів на одиницю індивідуальної дози і кількість випадків стохастических ефектів для населення на одиницю колективної дози з використанням коефіцієнтів для хімічних речовин (див. табл. 1) і радіоактивних речовин [25].

**Показатели екологічного ризику для населення при впливі викидів ТЕС.** На основі даних про кількість неканцерогенних хімічних речовин у викидах ТЕС України за 2004—2012 гг. [19] визначено, що викиди твердих частинок знаходяться в діапазоні від 1,22 по Угледорської ТЕС до 157 тис. т/(ГВт (эл.)·год) по Кураховській ТЕС; NO<sub>x</sub> — від 1,97 по Угледорської до 226 по Криворізькій ТЕС; SO<sub>2</sub> — від 13,3 по Криворізькій ТЕС до 1130 по Ладзінській ТЕС; CO — від 0,41 по Добротворській ТЕС до 5,55 по Криворізькій ТЕС (рис. 1).

Середні середньорічні викиди газів складають: SO<sub>2</sub> — 95,4; NO<sub>x</sub> — 14,18; CO — 0,96 тис. т/(ГВт (эл.)·год); твердих частинок — 33,7 тис. т/(ГВт (эл.)·год).

Середні середньорічні концентрації газообразних викидів на відстані 1 км (мінімальне відстання до найближчого населеного пункту) на 1 ГВт (эл.) ТЕС складають: SO<sub>2</sub> —  $6,23 \cdot 10^{-1}$  мг/м<sup>3</sup>, NO<sub>x</sub> —  $9,69 \cdot 10^{-2}$  мг/м<sup>3</sup>, CO —  $6,24 \cdot 10^{-3}$  мг/м<sup>3</sup>; твердих частинок —  $2,20 \cdot 10^{-1}$  мг/м<sup>3</sup>. Індивідуальні дози при впливі хімічного речовини за семидесятирічний період складають: для твердих частинок —  $1,25 \cdot 10^5$ ; для SO<sub>2</sub> —  $3,53 \cdot 10^5$ , NO<sub>x</sub> —  $5,49 \cdot 10^4$ , CO —  $3,54 \cdot 10^3$  мг/(ГВт (эл.)·год).

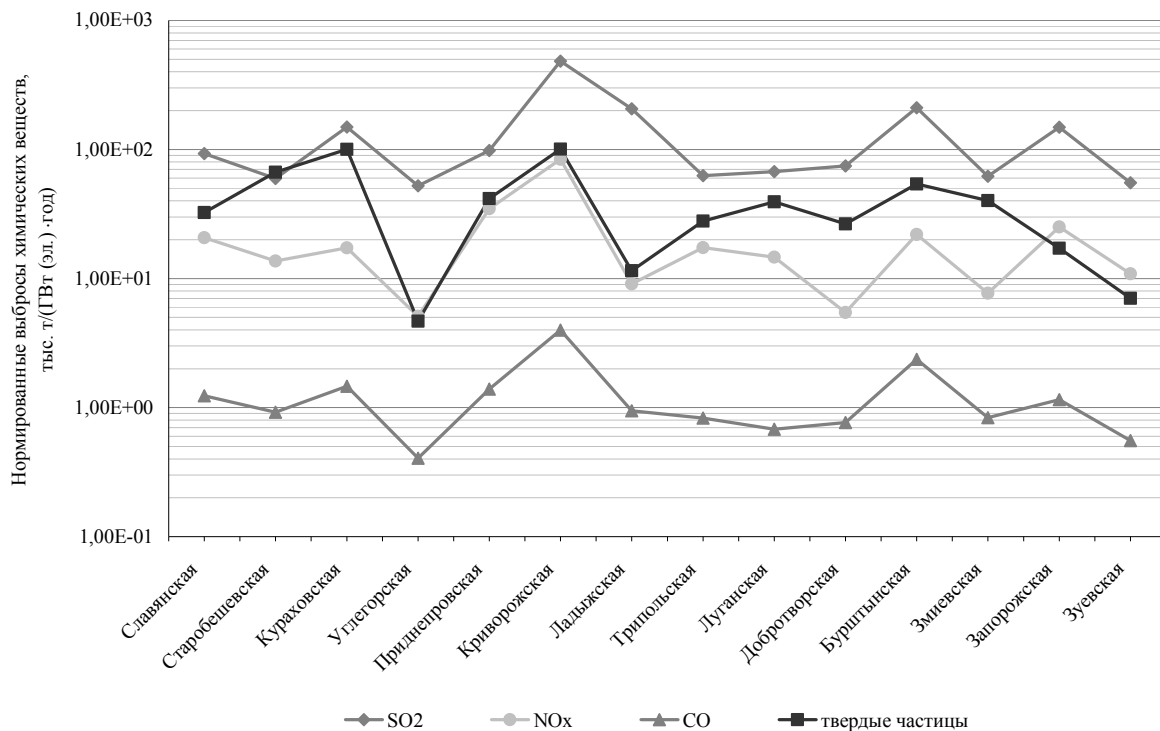


Рис. 1. Среднегодовые выбросы газов и твердых частиц ТЭС Украины

Вероятность стохастических эффектов для населения, обусловленных выбросами неканцерогенных химических веществ на 1 ГВт (эл.)·год произведенной энергии указанных ТЭС Украины, составляет за счет: SO<sub>2</sub> —  $5,44 \cdot 10^{-4}$ , NO<sub>x</sub> —  $1,70 \cdot 10^{-4}$ , CO —  $1,45 \cdot 10^{-7}$ ; твердых частиц —  $1,03 \cdot 10^{-4}$ .

Количество случаев стохастических эффектов для населения за счет воздействия выбросов неканцерогенных химических веществ на 1 ГВт (эл.)·год указанных ТЭС Украины составляет: для SO<sub>2</sub> — 6,78; NO<sub>x</sub> — 2,11; CO —  $1,81 \cdot 10^{-3}$ ; твердых частиц — 1,28.

Таблица 2. Показатели экологического риска для населения при воздействии химических веществ в летучей золе выбросов ТЭС на 1 ГВт (эл.)·год

Вещество	Выброс, тыс. т	Среднегод. с на расстоянии 1 км, мг/м <sup>3</sup>	$r_{ch}$	$R_{ch}$
Неканцерогенные				
Pb	4,12	$2,85 \cdot 10^{-5}$	$1,33 \cdot 10^{-5}$	$3,29 \cdot 10^{-1}$
V	3,91	$2,70 \cdot 10^{-5}$	$1,37 \cdot 10^{-6}$	$3,39 \cdot 10^{-2}$
Hg	13,58	$9,39 \cdot 10^{-5}$	$6,03 \cdot 10^{-8}$	$1,49 \cdot 10^{-3}$
Cu	0,37	$2,59 \cdot 10^{-6}$	$9,46 \cdot 10^{-5}$	2,34
Zn	0,20	$1,37 \cdot 10^{-6}$	$7,30 \cdot 10^{-5}$	1,81
Канцерогенные				
Ni	4,45	$3,08 \cdot 10^{-5}$	$8,88 \cdot 10^{-6}$	$2,20 \cdot 10^{-1}$
Cr	5,86	$4,06 \cdot 10^{-5}$	$5,41 \cdot 10^{-4}$	13,4
As	0,16	$1,07 \cdot 10^{-6}$	$5,11 \cdot 10^{-6}$	$1,27 \cdot 10^{-1}$
Cd	2,20	$1,52 \cdot 10^{-5}$	$3,04 \cdot 10^{-5}$	$7,52 \cdot 10^{-1}$
Бенз(а)пирен	0,01	$4,45 \cdot 10^{-8}$	$4,37 \cdot 10^{-8}$	$1,08 \cdot 10^{-3}$

На основании данных, взятых из [20], в работе определено содержание выбросов бенз(а)пирена и тяжелых металлов (канцерогенов — Cd, Cr, Ni, As; неканцерогенов — Pb, Cu, V, Zn, Hg) в летучей золе выбросов ТЭС на 1 ГВт (эл.)·год (табл. 2).

Индивидуальные и коллективные эффективные дозы облучения населения при воздействии выбросов ЕРН в составе летучей золы (см. рис. 1, *твердые частицы*) рассчитаны с учетом данных, приведенных в [27], и применением программного комплекса CAP-88, разработанного US Environmental Protection Agency [28].

Ожидаемые индивидуальные эффективные дозы облучения населения на расстоянии 1 км составляют: максимальные значения — для районов размещения Змиевской (83,6 мкЗв/год), Доброутворской (51,5 мкЗв/год), Луганской (49,9 мкЗв/год) и Бурштынской ТЭС (48,3 мкЗв/год); минимальные значения — для Ладыжинской (4,10 мкЗв/год) и Угледгорской ТЭС (4,54 мкЗв/год). Величины индивидуальных доз облучения населения от воздействия ЕРН выбросов ТЭС Украины разнятся более чем в десять раз.

Величина суммарной коллективной эффективной дозы облучения населения за год составляет 26,3 чел.-Зв. За исследуемый период на ТЭС Украины выработано 9,12 ГВт (эл.)·год, что привело к средней коллективной эффективной дозе облучения населения 2,92 чел.-Зв на 1 ГВт (эл.)·год.

Вероятность и количество случаев стохастических эффектов для населения при воздействии

Таблиця 3. Вероятность и количество случаев стохастических эффектов для населения при воздействии химических и радиоактивных веществ выбросов ТЭС Украины на 1 ГВт (эл.)·год

ТЭС	$r_{ch}$					$r_r$	$R_{ch}$					$R_r$
	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Твердые частицы	$\Sigma$		SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	Твердые частицы	$\Sigma$	
Бурштынская	$6,20 \cdot 10^{-4}$	$1,18 \cdot 10^{-4}$	$1,70 \cdot 10^{-8}$	$8,01 \cdot 10^{-5}$	$8,18 \cdot 10^{-4}$	$1,54 \cdot 10^{-4}$	15,2	2,88	$4,16 \cdot 10^{-3}$	1,96	20,0	10,1
Добровровская	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$3,45 \cdot 10^{-5}$	$6,48 \cdot 10^{-8}$	$4,46 \cdot 10^{-5}$	$3,15 \cdot 10^{-4}$	$5,58 \cdot 10^{-4}$	5,75	$8,44 \cdot 10^{-1}$	$1,58 \cdot 10^{-3}$	1,09	7,68	79,1
Запорожская	$2,99 \cdot 10^{-4}$	$9,83 \cdot 10^{-5}$	$8,00 \cdot 10^{-8}$	$2,05 \cdot 10^{-5}$	$4,18 \cdot 10^{-4}$	$2,39 \cdot 10^{-5}$	7,3	2,40	$1,96 \cdot 10^{-3}$	$5,01 \cdot 10^{-1}$	10,2	2,46
Змиевская	$3,16 \cdot 10^{-4}$	$7,75 \cdot 10^{-5}$	$1,12 \cdot 10^{-7}$	$1,06 \cdot 10^{-4}$	$4,99 \cdot 10^{-4}$	$2,64 \cdot 10^{-4}$	7,7	1,89	$2,74 \cdot 10^{-3}$	2,58	12,2	19,4
Зуевская	$3,74 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$	$8,17 \cdot 10^{-8}$	$2,54 \cdot 10^{-5}$	$5,47 \cdot 10^{-4}$	$2,01 \cdot 10^{-4}$	9,1	3,62	$2,74 \cdot 10^{-3}$	$6,21 \cdot 10^{-1}$	13,1	15,7
Криворожская	$5,11 \cdot 10^{-4}$	$1,86 \cdot 10^{-4}$	$1,21 \cdot 10^{-7}$	$5,92 \cdot 10^{-5}$	$7,56 \cdot 10^{-4}$	$7,53 \cdot 10^{-5}$	12,5	4,55	$2,00 \cdot 10^{-3}$	1,45	18,5	6,51
Кураховская	$4,38 \cdot 10^{-4}$	$1,01 \cdot 10^{-4}$	$1,13 \cdot 10^{-7}$	$1,48 \cdot 10^{-4}$	$6,86 \cdot 10^{-4}$	$2,60 \cdot 10^{-4}$	10,7	2,46	$2,75 \cdot 10^{-3}$	3,62	16,8	20,6
Ладыжинская	$4,53 \cdot 10^{-4}$	$5,81 \cdot 10^{-5}$	$7,71 \cdot 10^{-8}$	$2,11 \cdot 10^{-5}$	$5,32 \cdot 10^{-4}$	$8,99 \cdot 10^{-5}$	11,1	1,42	$1,88 \cdot 10^{-3}$	$5,16 \cdot 10^{-1}$	13,0	9,34
Луганская	$4,14 \cdot 10^{-4}$	$1,77 \cdot 10^{-4}$	$1,09 \cdot 10^{-7}$	$1,24 \cdot 10^{-4}$	$7,15 \cdot 10^{-4}$	$3,03 \cdot 10^{-4}$	10,1	4,32	$2,68 \cdot 10^{-3}$	3,03	17,5	23,8
Приднепровская	$2,43 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{-4}$	$8,56 \cdot 10^{-8}$	$5,00 \cdot 10^{-5}$	$4,54 \cdot 10^{-4}$	$9,20 \cdot 10^{-5}$	5,9	3,94	$2,09 \cdot 10^{-3}$	1,22	11,1	20,9
Славянская	$1,61 \cdot 10^{-4}$	$7,07 \cdot 10^{-5}$	$5,65 \cdot 10^{-8}$	$3,00 \cdot 10^{-5}$	$2,61 \cdot 10^{-4}$	$1,58 \cdot 10^{-4}$	3,9	1,73	$1,38 \cdot 10^{-3}$	$7,33 \cdot 10^{-1}$	6,39	12,6
Старобешевская	$2,40 \cdot 10^{-4}$	$1,06 \cdot 10^{-4}$	$9,53 \cdot 10^{-8}$	$1,37 \cdot 10^{-4}$	$4,83 \cdot 10^{-4}$	$1,92 \cdot 10^{-4}$	5,9	2,59	$2,33 \cdot 10^{-3}$	3,34	11,8	15,2
Трипольская	$2,76 \cdot 10^{-4}$	$1,36 \cdot 10^{-4}$	$7,77 \cdot 10^{-8}$	$5,79 \cdot 10^{-5}$	$4,70 \cdot 10^{-4}$	$9,76 \cdot 10^{-5}$	6,75	3,32	$1,90 \cdot 10^{-3}$	1,41	11,5	13,2
Углегорская	$3,85 \cdot 10^{-4}$	$7,56 \cdot 10^{-5}$	$8,17 \cdot 10^{-8}$	$1,81 \cdot 10^{-5}$	$4,79 \cdot 10^{-4}$	$2,01 \cdot 10^{-5}$	9,4	1,85	$2,00 \cdot 10^{-3}$	$4,41 \cdot 10^{-1}$	11,7	1,62

газов и твердых веществ за семидесятилетний период для указанных ТЭС Украины приведены в табл. 3.

По нашим оценкам количество случаев стохастических эффектов, обусловленных среднегодовыми выбросами газообразных и твердых веществ, на 1 ГВт (эл.)·год составит 10,2 (усредненное значение для ТЭС).

Также были рассчитаны показатели вероятности и количества случаев стохастических эффектов для населения при воздействии канцерогенных и неканцерогенных веществ, содержащихся в летучей золе выбросов ТЭС, за семидесятилетний период (см. табл. 2).

Следует подчеркнуть, что количество случаев стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год, обусловленных среднегодовыми выбросами ЕРН, канцерогенных и неканцерогенных веществ, содержащихся в летучей золе выбросов ТЭС Украины, составит 32,2 (усредненное значение для ТЭС).

## Выводы

Применение метода комплексной оценки экологического риска для населения позволило оценить вклад как отдельных, так и в комплексе, факторов риска, включая неканцерогенные и канцерогенные химические вещества, а также радиоактивные вещества, при воздействии выбросов ТЭС в прогнозируемую величину индивидуального риска и количество случаев стохастических эффектов.

Необходимо отметить, что вклад в экологический риск для здоровья населения за счет радиоактивных выбросов ТЭС Украины почти в десять раз меньше, чем вклад, обусловленный газообразными и твердыми канцерогенными и неканцерогенными веществами.

Подводя итог, прогноз по общему количеству стохастических эффектов для населения за семидесятилетний период при воздействии химических и радиоактивных веществ выбросов ТЭС Украины составит 387 случаев.

## Список использованной литературы

1. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні в 2010 році. — К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2011. — 254 с.
2. Бабаев Н. С. Ядерная энергетика, человек и окружающая среда / Н. С. Бабаев, В. Ф. Демин, Л. А. Ильин; под ред. А. П. Александрова. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 35 с.
3. Варламов Г. Б. Теплоэнергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії: Підручник / Г. Б. Варламов, Г. М. Любчик, В. А. Маляренко. — К.: ІВЦ "Видавництво "Політехніка", 2003. — 232 с.: іл.
4. Беренгартен М. Г. Международное сотрудничество по созданию экологически чистых технологий добычи и использования угля / М. Г. Беренгартен, А. Г. Евстафьев // Открытые горные работы. — 2000. — № 2. — С. 4—5.
5. Книжников В. А. Сравнительная оценка радиационной опасности для населения от выбросов в атмосферу тепловых и атомных электростанций / В. А. Книжников, Р. М. Бархударов // Атомная энергия. — 1977. — Т. 43, № 3. — С. 191—195.
6. Носков А. С. Воздействие ТЭС на окружающую среду и способы снижения наносимого ущерба (технологические аспекты): Аналитический обзор / А. С. Носков, М. А. Савинкина, Л. Я. Анищенко. — Новосибирск: Изд. ГПНТБ СО АН СССР, 1990. — 178 с.
7. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року: Проект. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=222032>.
8. Коваленко Г. Д. Экологический риск нарушения состояния атмосферного воздуха при воздействии выбросов

- тепловых электростанций Украины / Г. Д. Коваленко, А. В. Пивень // Мат. 5-ої Всеукр. наук.-практ. конф. “Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України”, Запоріжжя (Україна), 10—11 грудня 2009 р. — Запоріжжя, 2009. — С. 203—205.
9. *Жаворонкова Н. Г.* Эколого-правовые проблемы обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера / Н. Г. Жаворонкова. — М. : Юриспруденция, 2007. — 43 с.
  10. *Theodore M. K.* Introduction to Environmental Management / M. K. Theodore, L. M. Theodore. — NY : CRC Press, 2010. — 266 p.
  11. Environmental health Criteria 210 : Principles for the Assessment of Risk to Human Health from Exposure to Chemicals // WHO / IPCS. — Geneva, 1999. — 322 p.
  12. Екологічний ризик: методологія оцінювання та управління : навч. посібник. / Г. В. Лисиченко, Г. В. Хміль, С. В. Барбашов, Ю. Л. Забулонов, Ю. Є. Тищенко. — К. : Наук. думка, 2014. — 328 с.
  13. Environmental health Criteria 214 : Human Exposure Assessment // WHO / IPCS. — Geneva, 2000. — 422 p.
  14. *Коваленко Г. Д.* Экологический риск для здоровья населения при воздействии выбросов ТЭС и АЭС Украины / Г. Д. Коваленко, А. В. Пивень // Ядерная и радиационная безопасность. — 2010. — Вып. 4 (48). — С. 50—56.
  15. *Коваленко Г. Д.* Комплексный подход к оценке экологического риска для здоровья населения при воздействии выбросов топливно-энергетического комплекса Украины / Г. Д. Коваленко, А. В. Хабарова // Вісник НТУ ХП. — 2012. — Вып. 1. — С. 71—79.
  16. Integrated Risk Information System (IRIS). [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.epa.gov/iris>
  17. *Киселев А. Ф.* Оценка риска здоровью / А. Ф. Киселев, К. Б. Фридман. — Санкт-Петербург, 1997. — 100 с.
  18. *Порфирьев Б. Н.* Экологическая экспертиза и риск технологий / Б. Н. Порфирьев // Итоги науки и техники. Серия : Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. Т. 27. — М. : ВИНТИ, 1990. — 204 с.
  19. Экологические паспорта регионов. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.menr.gov.ua/protection/protection1>
  20. Порівняльний аналіз щодо ступеню екологічного ризику при проживанні населення в зонах впливу АЕС та ТЕС. Т. 12. “Про ступінь екологічної небезпеки для проживання населення в зонах впливу АЕС і ТЕС” : Звіт про НДР “Розробка державних науково-технічних програм для забезпечення екологічної безпеки у сфері паливно-енергетичного комплексу” / Л. М. Бойко, О. В. Горішна, Ю. Л. Забулонов, Г. В. Лисиченко. — К. : ІГНС НАН та МНС України, 2006. — 129 с.
  21. *Ваганов П. А.* Экологические риски : учеб. пособие. Изд-е 2-е / П. А. Ваганов, Им. Ман-Сунг. — СПб. : Изд-во СПбГУ, 2001. — 152 с.
  22. О нормировании и сравнении риска от разных источников вреда здоровью человека / В. Ф. Демин, В. Я. Голиков, Е. В. Иванов и др. — М. : Международный центр по экологической безопасности Минатома России, 2001.
  23. Про затвердження Методичних рекомендацій “Оцінка ризику для здоров’я населення від забруднення атмосферного повітря” : Наказ Міністерства охорони здоров’я України від 13.04.2007, № 184.
  24. ДГН 6.6.1-6.5.061-2000. Державні гігієнічні нормативи. Норми радіаційної безпеки України, доповнення : Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000). [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://zakon.nau.ua/doc/?unid=1039.8664.0>
  25. Radiation protection. ICRP Publication 103 : Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). [Електронний ресурс]. — Режим доступу : [http://www.icrp.org/docs/ICRP\\_Publication\\_103-Annals\\_of\\_the\\_ICRP\\_37\(2-4\)-Free\\_extract.pdf](http://www.icrp.org/docs/ICRP_Publication_103-Annals_of_the_ICRP_37(2-4)-Free_extract.pdf)
  26. Sources and effects of ionizing radiation // Scientific Annexes of United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2000 Report to the General Assambly. — New York, 2000. — 195 p.
  27. *Коваленко Г. Д.* Радиоэкология Украины : монография. 3-е изд., доп. и перераб / Г. Д. Коваленко. — Х. : ИД “ИНЖЕК”, 2013. — 344 с.
  28. *Rosnick R.* CAP88-PC Version 3.0 User Guide / R. Rosnick. — USA : Environmental Protection Agency, 2007. — 210 p. [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.epa.gov/radiation/assessment/CAP88/aboutcap88.html>

Получено 03.08.2015