

Г. Д. Коваленко, А. В. Пивень

Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем

Экологический риск для здоровья населения при воздействии выбросов ТЭС и АЭС Украины

Разработана методика комплексной оценки экологического риска при воздействии химических и радиационных факторов на окружающую среду и здоровье населения, которая позволит оценить ранее недостаточно изученную химическую и радиационную составляющие в реализации экологического риска при нормальной эксплуатации ТЭС и АЭС. Приведена сравнительная оценка экологического риска для здоровья населения при влиянии выбросов ТЭС и АЭС в приземном слое атмосферного воздуха.

Ключевые слова: выбросы ТЭС и АЭС, химическая и радиационная составляющие, экологический риск для здоровья населения.

Г. Д. Коваленко, Г. В. Пивень

Екологічний ризик для здоров'я населення під час викидів ТЕС і АЕС України

Розроблено методику комплексної оцінки екологічного ризику від впливу хімічних і радіаційних факторів на довкілля та здоров'я населення, яка дасть змогу оцінити раніше недостатньо вивчену хімічну та радіаційну складові в реалізації екологічного ризику під час нормальної експлуатації ТЕС і АЕС. Наведено порівняльну оцінку екологічного ризику для здоров'я населення від впливу викидів ТЕС і АЕС у приземному шарі атмосферного повітря.

Ключові слова: викиди ТЕС і АЕС, хімічна та радіаційна складові, екологічний ризик для здоров'я населення.

© Г. Д. Коваленко, А. В. Пивень, 2010

Приемлемость деятельности объектов повышенной экологической опасности принято оценивать на основе анализа риска для здоровья человека [1]–[4]. Большое значение в развитии тепловой и атомной энергетики имеет обеспеченность экологической безопасности в условиях длительной эксплуатации ТЭС и АЭС в штатном режиме. Внедрение системы оценки экологического риска как обязательной процедуры при оценке воздействия объектов повышенной экологической опасности на окружающую среду и здоровье населения очень важно для выбора стратегии развития энергетики Украины.

Авторами работ [5]–[8] проведена оценка воздействия на окружающую среду и здоровье населения исключительно радиоактивных выбросов ТЭС и АЭС. При этом воздействие химических веществ выбросов ТЭС и связанный с ним риск для здоровья населения недостаточно изучено.

В настоящее время в Украине не существует общепризнанной и утвержденной на законодательном уровне методологии комплексной оценки экологического риска как главной инструментария для определения степени экологической опасности деятельности промышленного объекта. Целью настоящей работы является применение разработанной методики комплексной оценки экологического риска для здоровья населения при воздействии выбросов в приземный слой атмосферного воздуха крупных ТЭС Украины (более 300 МВт) и АЭС, работающих в штатном режиме.

Под термином «экологический риск» в данной работе понимается вероятность возникновения неблагоприятных эффектов для здоровья человека вследствие загрязнения окружающей природной среды радиоактивными и вредными химическими веществами.

Анализ источников загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха выбросами ТЭС и АЭС Украины. Основная доля производимой в Украине электроэнергии приходится на четыре АЭС (48 %) — Запорожскую, Ровенскую, Хмельницкую и Южно-Украинскую — и 14 ТЭС (41,1 %): Углегорскую, Старобешевскую, Кураховскую, Славянскую, Зуевскую (Донецкая обл.), Приднепровскую, Криворожскую (Днепропетровская обл.), Луганскую (Луганская обл.), Добротворскую (Львовская обл.), Бурштынскую (Ивано-Франковская обл.), Запорожскую (Запорожская обл.), Ладыжинскую (Винницкая обл.), Трипольскую (Киевская обл.) и Змиевскую (Харьковская обл.). Малую долю вырабатывают ГЭС (6,8 %), коммунальные ТЭЦ и блок-станции (4,1 %).

ТЭС, работающие на каменном угле, производят треть всех загрязняющих веществ в приземный слой атмосферного воздуха, выбросы которых содержат такие токсичные по характеру воздействия на человека компоненты, как двуокись серы, окиси азота, оксиды углерода, а также летучую золу. Являясь потенциальными источниками загрязнения окружающей среды, по уровню вредного воздействия на здоровье населения ТЭС считаются объектами повышенного экологического риска [9]. В золе топлива обнаружены тяжелые металлы и микроэлементы, которые характеризуются неканцерогенными (Co, V, Cu, Zn, Hg) и канцерогенными эффектами (Cr, Ni, Cd, As, Be), а также естественные радионуклиды (^{226}Ra , ^{210}Pb , ^{228}Th) [10]. Высокодисперсная часть золы, т. е. летучая зола, выбрасываемая в воздух, представляет опасность ввиду ее способности распространяться на значительное расстояние и проникать в легкие человека.

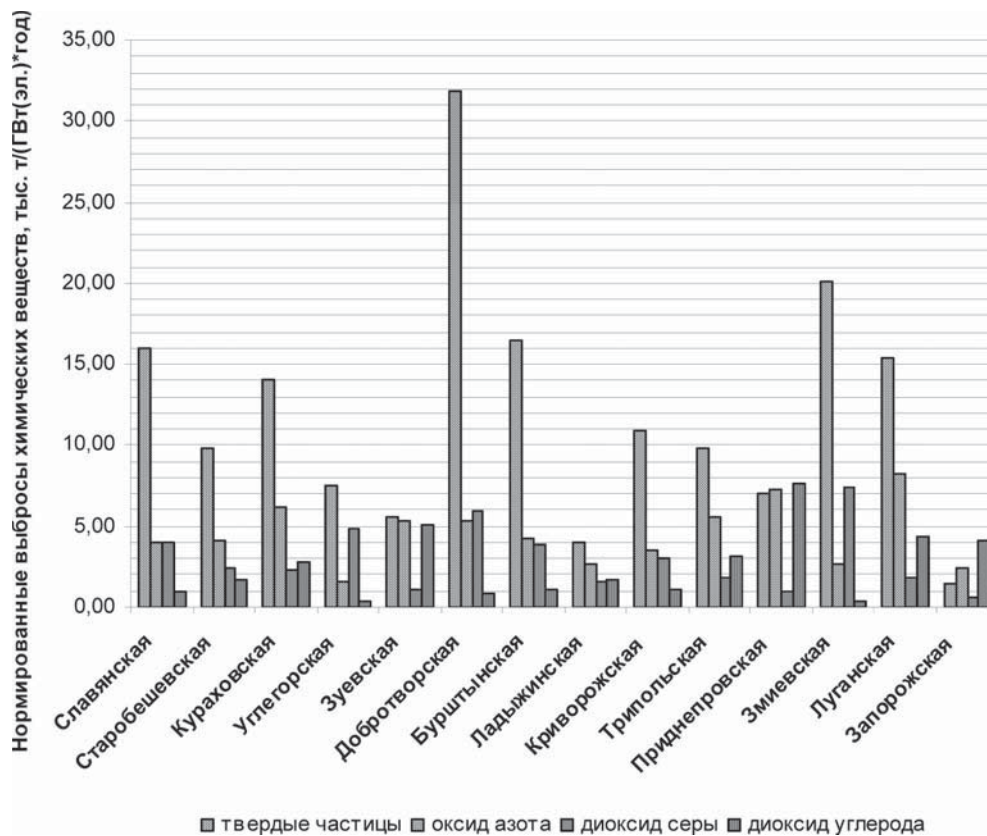


Рис. 1. Исследуемые компоненты выбросов химических веществ ТЭС, нормированные на 1 ГВт (эл.) мощности, за период 2001—2008 гг.

Исследуемые компоненты выбросов химических веществ ТЭС, нормированные на 1 ГВт (эл.) мощности за период 2001—2008 гг., приведены на рис. 1. Выбросы твердых частиц, тыс. т/(ГВт (эл.)·год), находятся в пределах от 1,40 по Запорожской ТЭС до 31,85 по Добротворской ТЭС; выбросы NO_x — от 1,54 по Углегорской ТЭС до 8,34 по Луганской ТЭС; SO_2 — от 0,59 по Запорожской ТЭС до 7,42 по Змиевской ТЭС; CO_2 — от 0,37 по Змиевской ТЭС до 5,05 по Зуевской ТЭС.

В процессе получения электроэнергии на АЭС необходимо выделять радиационные и химические факторы воздействия на здоровье населения. Однако ранее воздействие химических веществ не учитывалось, основное внимание при оценке воздействия АЭС на окружающую среду уделялось выбросам радиоактивных веществ.

Как пример, в данной работе рассмотрены химические факторы, обусловленные выбросами твердых частиц, сернистого ангидрида, окисью углерода, двуокисью азота,

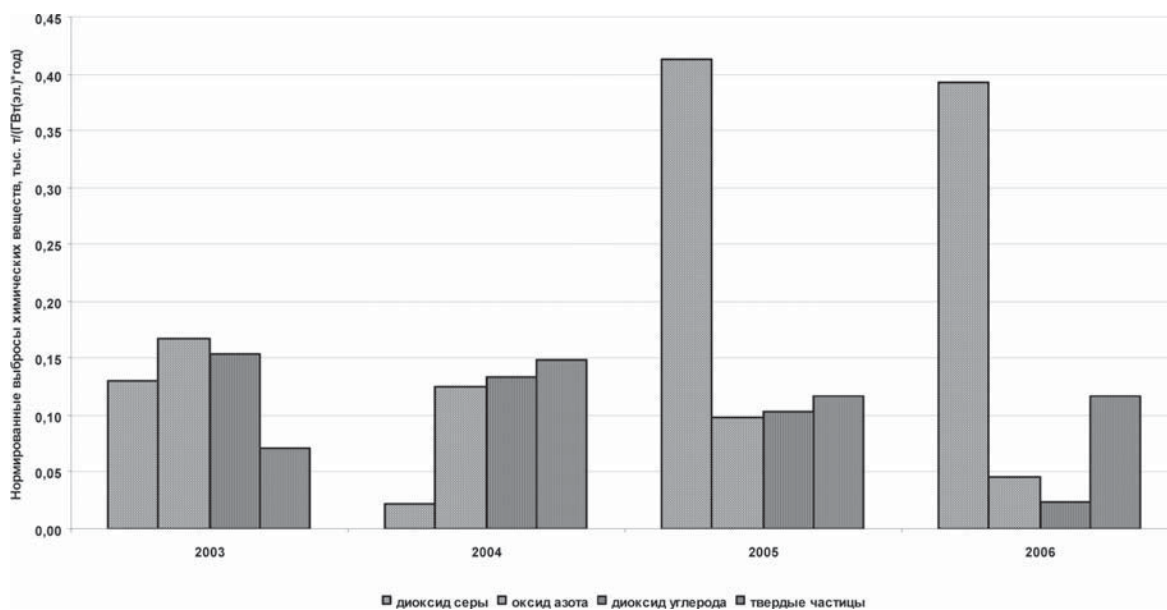


Рис. 2. Исследуемые компоненты выбросов химических веществ при работе ПРК ЦТПК, расположенной на промплощадке ЮУ АЭС, нормированные на 1 ГВт (эл.) мощности АЭС за период 2003—2006 гг.

которые дают 85—90 % суммарных годовых выбросов при работе пускорезервной котельной цеха тепловых подземных коммуникаций (ПРК ЦТПК), расположенной на промплощадке Южно-Украинской АЭС и использующей в качестве топлива мазут, и радиационные факторы, непосредственно обусловленные работой ЮУ АЭС.

В результате анализа исследуемых компонентов выбросов химических веществ ПРК ЦТПК (рис. 2) установлено, что основной вклад в загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха обусловлен выбросами SO_2 : в 2005 г. он составил 0,41 тыс. т/(ГВт (эл.)·год); минимальный вклад дает CO_2 — в 2006 г. — 0,02 тыс. т/(ГВт (эл.)·год).

Усредненные за период 2003—2006 гг. компоненты выбросов химических веществ, тыс. т/(ГВт (эл.)·год), за счет твердых частиц составляют 0,34; SO_2 — 0,07; NO_x — 0,15; CO_2 — 0,20.

Среднегодовые концентрации компонентов выбросов химических веществ ТЭС и ПРК ЦТПК, расположенной на площадке ЮУ АЭС, рассчитаны методом математического моделирования процессов распространения вредных химических веществ в приземном слое атмосферного воздуха в зависимости от расстояния с использованием данных статистической отчетности по выбросам ТЭС за 2001—2008 гг. и годовых отчетов отдела охраны окружающей среды по выбросам ПРК ЦТПК за 2003—2006 гг.

На расстоянии 1 км (минимальное расстояние до ближайшего населенного пункта) на 1 ГВт (эл.) мощности условной ТЭС концентрации компонентов выбросов химических веществ составляют, mg/m^3 : SO_2 — $1,18 \cdot 10^{-3}$, твердых частиц — $3,33 \cdot 10^{-4}$, NO_x — $1,28 \cdot 10^{-4}$, CO_2 — $1,09 \cdot 10^{-5}$.

На расстоянии 2 км (минимальное расстояние до ближайшего населенного пункта) на 1 ГВт (эл.) мощности ЮУ АЭС концентрации компонентов выбросов химических веществ составляют, mg/m^3 : SO_2 — $1,68 \cdot 10^{-7}$, твердых частиц — $2,08 \cdot 10^{-8}$, NO_x — $1,92 \cdot 10^{-8}$, CO_2 — $1,82 \cdot 10^{-8}$.

Максимальные и минимальные значения концентраций компонентов выбросов химических веществ в приземном слое атмосферного воздуха на 1 ГВт (эл.) мощности ТЭС за период 2001—2008 гг., mg/m^3 :

твердых частиц — $C_{\max} = 1,62 \cdot 10^{-4}$ в районе расположения Бурштынской ТЭС, $C_{\min} = 2,89 \cdot 10^{-5}$ — Углегорской ТЭС;

SO_2 — $C_{\max} = 6,40 \cdot 10^{-3}$ в районе расположения Ладыженской ТЭС, $C_{\min} = 1,50 \cdot 10^{-4}$ — Углегорской ТЭС;

NO_x — $C_{\max} = 4,51 \cdot 10^{-4}$ в районе расположения Бурштынской ТЭС, $C_{\min} = 1,93 \cdot 10^{-5}$ — Углегорской ТЭС;

CO_2 — $C_{\max} = 3,75 \cdot 10^{-5}$ в районе расположения Ладыженской ТЭС, $C_{\min} = 1,98 \cdot 10^{-6}$ — Углегорской ТЭС.

Максимальные и минимальные значения концентраций компонентов выбросов химических веществ при работе ПРК ЦТПК, расположенной на промплощадке ЮУ АЭС, в приземном слое атмосферного воздуха на 1 ГВт (эл.) мощности АЭС за период 2003—2006 гг., mg/m^3 :

твердых частиц — $C_{\max} = 3,74 \cdot 10^{-7}$ mg/m^3 ;

SO_2 — $C_{\min} = 2,45 \cdot 10^{-8}$ mg/m^3 .

Значения концентраций NO_x и CO_2 составляют $3,49 \cdot 10^{-7}$ и $3,51 \cdot 10^{-7}$ mg/m^3 соответственно.

Дозовые нагрузки при воздействии выбросов естественных радионуклидов (ЕРН) всех исследуемых ТЭС Украины за 2007—2008 гг. получены в данной работе, а за период 2001—2006 гг. взяты из [6]. Максимальная индивидуальная доза на 1 ГВт (эл.) наблюдается по Добротворской ТЭС — 60,2 мкЗв/(ГВт (эл.)·год), минимальная — по Углегорской ТЭС: 0,34 мкЗв/(ГВт (эл.)·год). При эксплуатации условной

ТЭС мощностью 1 ГВт (эл.) индивидуальная доза составляет 15,0 мкЗв/(ГВт (эл.)·год), коллективная доза — 1,38 чел.·Зв/(ГВт (эл.)·год). Общая коллективная доза при воздействии всех исследуемых ТЭС — 32,41 чел.·Зв/год.

Дозовые нагрузки при воздействии радиоактивных выбросов АЭС Украины за 2003—2006 гг. взяты из [6]. Максимальная индивидуальная доза на 1 ГВт (эл.) наблюдается по Хмельницкой АЭС — 2,60 мкЗв/(ГВт (эл.)·год), минимальная — по ЮУ АЭС и Ровенской АЭС: 2,40 мкЗв/(ГВт (эл.)·год). При эксплуатации условной АЭС мощностью 1 ГВт (эл.) индивидуальная доза составляет 0,24 мкЗв/(ГВт (эл.)·год), коллективная доза — 0,034 чел.·Зв/(ГВт (эл.)·год). Общая коллективная доза при воздействии всех исследуемых АЭС — 0,39 чел.·Зв/год.

Индивидуальные и коллективные дозы за счет воздействия выбросов ЕРН на 1 ГВт (эл.) мощности ТЭС почти в 60 и 100 раз больше, чем при воздействии радиоактивных выбросов АЭС.

Методика комплексной оценки экологического риска.

В соответствии с классификацией [11] вредные вещества по характеру воздействия на организм подразделяются на:

токсические, отравляющие весь организм или поражающие отдельные системы — ЦНС, кроветворения (хром, свинец, мышьяк, окись углерода), вызывающие патологические изменения печени, почек;

раздражающие, вызывающие раздражение слизистых оболочек дыхательных путей, глаз, легких, кожных покровов (сернистый ангидрид, твердые частицы); попадая в органы дыхания, вещества этой группы вызывают атрофию или гипертрофию слизистой верхних дыхательных путей, а задерживаясь в легких, приводят к развитию соединительной ткани в воздухообменной зоне и рубцеванию (фиброзу) легких;

сенсibiliзирующие, действующие как аллергены (диоксид азота и др.);

мутагенные, приводящие к нарушению генетического кода, изменению наследственной информации (свинец, радиоактивные изотопы и др.);

канцерогенные, вызывающие, как правило, злокачественные новообразования (бенз(а)пирен, хром, никель и др.);

влияющие на репродуктивную функцию (ртуть, свинец, радиоактивные изотопы и др.).

Согласно беспороговому принципу, воздействие как радиоактивных, так и химических веществ даже в неэффективных дозах считается вредным, т. е. способным вызвать патологические изменения в организме человека [12]—[14]. В работах [1], [12]—[15], [17] отмечено существование ненулевого риска даже при самых малых воздействиях вредных загрязняющих веществ, в том числе и для так называемых допустимых уровней. Поэтому для оценки риска используются линейные модели интерполяции зависимости «доза—эффект» в области малых доз вредных загрязняющих веществ.

Совокупное воздействие ионизирующего излучения и химических веществ на организм человека вызывает различные неблагоприятные эффекты, которые проявляются в отдаленные периоды. В исследованиях [1], [12]—[15], [17] отмечен идентичный характер их связей: при снижении дозы частота эффекта снижается, а латентный период возникновения случаев соматико-стохастических эффектов увеличивается.

В основе предлагаемой авторами методики комплексной оценки экологического риска используется вероятностный подход для определения ожидаемого числа дополнитель-

ных случаев возникновения соматико-стохастических эффектов в популяции при фактических уровнях воздействия исследуемых химических или радиоактивных веществ.

Методика комплексной оценки экологического риска позволяет в комплексе оценить радиационную и химическую составляющую в реализации экологического риска для здоровья населения в единых показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на единицу индивидуальной дозы и количество случаев соматико-стохастических эффектов на единицу коллективной дозы с использованием коэффициентов для оценки экологического риска для здоровья населения, рассчитанных авторами данной работы для неканцерогенных химических веществ. Ниже приведены коэффициенты, рассчитанные авторами данной работы для оценки неканцерогенной химической составляющей экологического риска для здоровья населения, которые учитывают вероятность возникновения соматико-стохастических эффектов, отнесенных к единице дозы:

Неканцерогенные вещества:	F_{ch} , [мг/(кг·сут)] ⁻¹
NO _x	1,26 · 10 ⁻¹
SO ₂	2,52 · 10 ⁻¹
CO ₂	9,46
V	2,21 · 10 ⁻⁴
Co	1,58 · 10 ⁻⁴
Cd	6,31 · 10 ⁻³
Cr	3,15 · 10 ⁻⁴
Zn	2,84 · 10 ⁻³
Pb	4,73 · 10 ⁻⁴
Cu	6,31 · 10 ⁻⁵
PM 2,5	4,73 · 10 ⁻¹
As	9,46 · 10 ⁻³
Hg	9,46 · 10 ⁻³
Канцерогенные вещества:	F_{ch} , [мг/(кг·сут)] ⁻¹
Ni	0,91*
Pb	4,20 · 10 ⁻² *
Cr	42,0*
Cd	6,30*
Бенз(а)пирен	3,10*
Ионизирующее излучение	$F_r = 6,5 \cdot 10^{-23} \text{Зв}^{-1**}$

Химическая составляющая. Вероятность индуцирования соматико-стохастических эффектов (возникновения фатального рака и серьезных наследственных эффектов при воздействии химических веществ) на единицу дозы химического вещества определяется соотношением

$$r_{ch} = F_{ch} \cdot D_{ch}, \quad (1)$$

где D_{ch} — доза химического вещества, мг/кг·сут; F_{ch} — коэффициент пропорциональности, определяющий наклон кривой доза — эффект при воздействии химического вещества, отражающий степень нарастания риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу, (мг/кг·сут)⁻¹.

Ожидаемое количество дополнительных случаев возникновения соматико-стохастических эффектов при воздействии химических веществ

* Коэффициенты, используемые в подходе Агентства по охране окружающей среде США для оценки канцерогенного риска химических веществ [1].

** Коэффициенты, используемые в подходе МКРЗ 103 для оценки радиационного риска [1].

$$R_{ch} = r_{ch} \cdot N, \quad (2)$$

где N — количество населения, подвергающегося воздействию химических веществ, чел.

Радиационная составляющая. Вероятность индуцирования соматико-стохастических эффектов (возникновения фатального рака и серьезных наследственных эффектов при воздействии ионизирующего излучения) на единицу дозы радионуклида

$$r_r = F_r \cdot D_r \quad (3)$$

где D_r — доза ионизирующего излучения, Зв; F_r — коэффициент пропорциональности, определяющий наклон кривой доза — эффект при воздействии ионизирующего излучения, отражающий степень нарастания риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу, Зв⁻¹.

Ожидаемое количество случаев соматико-стохастических эффектов при воздействии ионизирующего излучения в группе определяется соотношением [2], [3], [18]

$$R_r = F_r \cdot S, \quad (4)$$

где S — коллективная эффективная эквивалентная доза, чел·Зв.

Экологический риск при воздействии выбросов ТЭС и АЭС Украины при нормальных условиях эксплуатации. Радиационная и химическая составляющие экологического риска при хроническом воздействии выбросов ЕРН всех исследуемых ТЭС за период 2001–2008 гг. и радиоактивных выбросов АЭС за период 2003–2006 гг. рассчитаны с применением методики комплексной оценки экологического риска, предложенной в данной работе.

Оценка радиационной составляющей в реализации экологического риска для здоровья человека обусловлена требованием рекомендаций МКРЗ 103 в определении уровней риска в единых показателях — вероятности фатального рака [2] и тяжелых наследственных эффектов [3].

В табл. 1 и 2 приведены показатели радиационной и химической составляющих в реализации экологического риска при эксплуатации условной ТЭС и ЮУ АЭС на 1 ГВт (эл.)·год соответственно.

Наибольшее воздействие на здоровье населения оказывает ионизирующее излучение в показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год: от 2,74 · 10⁻⁴ в районе эксплуатации Добротворской ТЭС до 3,35 · 10⁻⁶ в районе эксплуатации Славянской ТЭС. Установленное количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год — от 16,15 в районе эксплуатации Добротворской ТЭС до 0,55 в районе эксплуатации Угледорской ТЭС.

Значительное воздействие на здоровье населения выявлено за счет химических факторов при работе ТЭС, обусловленных выбросами SO₂ и твердых частиц. Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год от воздействия выбросов SO₂ установлено в пределах от 2,49 · 10⁻⁴ в районе эксплуатации Ладжинской ТЭС до 9,03 · 10⁻⁶ в районе эксплуатации Змиевской ТЭС. Количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·произведенной энергии за счет воздействия выбросов SO₂ — от 19,7 случаев в районе расположения Славянской ТЭС до 0,12 случаев в районе расположения Кураховской ТЭС из всей популяции за 70 лет. Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год за счет воздействия выбросов твердых частиц — от 4,52 · 10⁻⁵ в районе эксплуатации Бурштынской ТЭС до 7,34 · 10⁻⁶

Таблица 1. Показатели радиационной и химической составляющей в реализации экологического риска при эксплуатации ТЭС Украины [19]

ТЭС	Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.) · год					Количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.) · год				
	Радиационная составляющая	Химическая составляющая				Радиационная составляющая	Химическая составляющая			
		SO ₂	NO ₂	CO ₂	Твердые частицы		SO ₂	NO ₂	CO ₂	Твердые частицы
Бурштынская	$4,34 \cdot 10^{-5}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$	$8,77 \cdot 10^{-6}$	$7,93 \cdot 10^{-5}$	$3,74 \cdot 10^{-5}$	4,78	17,0	1,00	8,73	4,12
Добротворская	$2,74 \cdot 10^{-4}$	$3,87 \cdot 10^{-5}$	$1,34 \cdot 10^{-6}$	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$1,90 \cdot 10^{-5}$	16,15	2,28	0,08	0,81	1,12
Запорожская	$3,18 \cdot 10^{-5}$	$8,91 \cdot 10^{-5}$	$1,68 \cdot 10^{-5}$	$3,12 \cdot 10^{-5}$	$2,06 \cdot 10^{-5}$	1,41	3,95	0,02	0,74	0,91
Змиевская	$9,23 \cdot 10^{-5}$	$9,03 \cdot 10^{-6}$	$6,80 \cdot 10^{-7}$	$5,71 \cdot 10^{-5}$	$2,14 \cdot 10^{-5}$	7,01	0,69	0,05	0,43	1,63
Зуевская	$1,69 \cdot 10^{-4}$	$1,48 \cdot 10^{-5}$	$2,59 \cdot 10^{-6}$	$8,05 \cdot 10^{-6}$	$4,21 \cdot 10^{-6}$	3,82	0,34	0,06	0,18	0,10
Криворожская	$6,43 \cdot 10^{-5}$	$8,49 \cdot 10^{-6}$	$1,45 \cdot 10^{-6}$	$4,74 \cdot 10^{-6}$	$1,34 \cdot 10^{-5}$	6,05	0,14	1,83	0,45	1,26
Кураховская	$8,54 \cdot 10^{-5}$	$1,85 \cdot 10^{-5}$	$1,22 \cdot 10^{-6}$	$7,57 \cdot 10^{-6}$	$3,00 \cdot 10^{-5}$	8,65	0,12	0,97	0,08	3,04
Ладыжинская	$5,69 \cdot 10^{-5}$	$2,49 \cdot 10^{-4}$	$6,53 \cdot 10^{-6}$	$5,48 \cdot 10^{-5}$	$1,30 \cdot 10^{-5}$	2,23	0,26	0,30	2,15	0,51
Луганская	$7,33 \cdot 10^{-5}$	$1,80 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-6}$	$7,69 \cdot 10^{-6}$	$3,00 \cdot 10^{-5}$	7,96	1,95	0,17	0,08	3,26
Приднепровская	$1,34 \cdot 10^{-5}$	$1,07 \cdot 10^{-5}$	$2,01 \cdot 10^{-6}$	$6,33 \cdot 10^{-6}$	$1,58 \cdot 10^{-5}$	13,97	2,09	18,7	6,59	16,4
Славянская	$3,35 \cdot 10^{-6}$	$6,23 \cdot 10^{-6}$	$9,60 \cdot 10^{-7}$	$3,97 \cdot 10^{-6}$	$1,47 \cdot 10^{-5}$	1,14	19,7	0,33	1,35	5,00
Старо-Бешевская	$4,55 \cdot 10^{-6}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$1,15 \cdot 10^{-6}$	$6,14 \cdot 10^{-6}$	$4,52 \cdot 10^{-5}$	8,37	2,12	20,0	11,3	83,1
Трипольская	$4,50 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-5}$	$1,40 \cdot 10^{-6}$	$5,75 \cdot 10^{-6}$	$2,59 \cdot 10^{-5}$	5,51	1,47	0,17	0,70	3,17
Угледорская	$1,54 \cdot 10^{-6}$	$5,84 \cdot 10^{-6}$	$3,75 \cdot 10^{-7}$	$2,90 \cdot 10^{-6}$	$7,34 \cdot 10^{-6}$	0,55	0,13	2,58	1,02	2,60

в районе эксплуатации Угледорской ТЭС. Количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт(эл.) · год за счет воздействия выбросов твердых частиц — от 83,1 случаев в районе расположения Старо-Бешевской ТЭС до 0,10 случаев в районе расположения Зуевской ТЭС из всей популяции за 70 лет. Менее значимое воздействие на здоровье населения оказывают выбросы NO_x и CO₂.

Вероятность соматико-стохастических эффектов и количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.) · год за счет воздействия химических факторов при производстве электроэнергии на ЮУ АЭС составляет пренебрежимо малые величины. Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.) · год от воздействия

ионизирующего излучения при работе ЮУ АЭС составляет $1,08 \cdot 10^{-6}$ за 70 лет. Количество дополнительных случаев соматико-стохастических эффектов — $1,50 \cdot 10^{-1}$ за 70 лет из всей популяции.

В табл. 3 приведены показатели экологического риска для здоровья населения.

Наибольший вклад в реализацию экологического риска в показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.) · год для здоровья населения обусловлен воздействием ионизирующего излучения при работе всех исследуемых ТЭС — $9,58 \cdot 10^{-4}$ за 70 лет. Количество дополнительных случаев стохастических эффектов составляет 87,6 за 70 лет из всей популяции.

Таблица 2. Показатели радиационной и химической составляющей в реализации экологического риска при эксплуатации АЭС Украины [19]

АЭС	Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.) · год					Количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.) · год				
	Радиационная составляющая	Химическая составляющая				Радиационная составляющая	Химическая составляющая			
		SO ₂	NO ₂	CO ₂	Твердые частицы		SO ₂	NO ₂	CO ₂	Твердые частицы
Южно-Украинская	$1,08 \cdot 10^{-6}$	$1,31 \cdot 10^{-9}$	$2,98 \cdot 10^{-10}$	$2,13 \cdot 10^{-8}$	$1,17 \cdot 10^{-9}$	$1,50 \cdot 10^{-1}$	$1,22 \cdot 10^{-2}$	$1,92 \cdot 10^{-3}$	$4,08 \cdot 10^{-2}$	$5,29 \cdot 10^{-3}$
Запорожская	$1,14 \cdot 10^{-6}$	—	—	—	—	$1,50 \cdot 10^{-1}$	—	—	—	—
Ровенская	$7,27 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—	$1,59 \cdot 10^{-1}$	—	—	—	—
Хмельницкая	$5,92 \cdot 10^{-7}$	—	—	—	—	$1,55 \cdot 10^{-1}$	—	—	—	—

Таблица 3. Показатели экологического риска для здоровья населения [19]

Параметр	Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)		Количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)	
	ТЭС	АЭС	ТЭС	АЭС
SO ₂	2,30 · 10 ⁻⁴	—	71,6	—
NO ₂	1,25 · 10 ⁻⁵	—	3,87	—
CO ₂	7,98 · 10 ⁻⁵	—	24,8	—
Твердые частицы	1,09 · 10 ⁻⁴	—	33,8	—
Ионизирующее излучение	9,58 · 10 ⁻⁴	3,53 · 10 ⁻⁶	87,6	6,14 · 10 ⁻¹

Значительный вклад в реализацию экологического риска в показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год для здоровья населения обусловлен воздействием выбросов SO₂ при работе всех исследуемых ТЭС. Количество дополнительных случаев стохастических эффектов составляет 71,6 за 70 лет из всей популяции.

Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт (эл.)·год за счет воздействия всех исследуемых АЭС Украины составляет 3,53 · 10⁻⁶ за 70 лет. Количество дополнительных случаев соматико-стохастических эффектов от воздействия всех исследуемых АЭС Украины — 6,14 · 10⁻¹ за 70 лет из всей популяции.

Вклад химической составляющей при производстве электроэнергии на ЮУ АЭС в реализацию экологического риска для здоровья населения существенно мал. Следовательно, оценка химической составляющей в реализации экологического риска при производстве электроэнергии на АЭС нецелесообразна.

Показатель усредненного комбинированного риска за счет радиационных и химических факторов воздействия на здоровье населения при работе ТЭС и АЭС Украины на 1 ГВт(эл.) произведенной энергии составляет 1,35 · 10⁻³ и 3,55 · 10⁻⁶ соответственно. Установлено, что значения радиационной составляющей намного больше химической составляющей в реализации экологического риска при производстве электроэнергии как на ТЭС, так и АЭС.

Сравнительный анализ различных видов риска для здоровья населения. Для сопоставления разнообразных видов риска ниже приведены среднемировые значения риска смерти, вызванного различными причинами[20]:

Причина смерти	Индивидуальный риск смерти, чел./год
Заболевания сердечно-сосудистой системы	1 · 10 ⁻²
Злокачественные новообразования.....	2 · 10 ⁻³
Природные катастрофы.....	1 · 10 ⁻⁵
Загрязнение атмосферного воздуха выбросами ТЭС (на угле и нефти).....	4 · 10 ⁻⁶ — 2 · 10 ⁻⁵

Проживание вблизи АЭС на протяжении всей жизни.....	5 · 10 ⁻⁸ — 3 · 10 ⁻⁷
Отравление выхлопными газами в промышленно развитых странах.....	(1+5) · 10 ⁻⁶
Курение	5 · 10 ⁻⁴
Ожоги, пожар.....	4 · 10 ⁻⁵
Работа в угольной шахте.....	1,2 · 10 ⁻³ (США)
Все несчастные случаи.....	5,8 · 10 ⁻⁴
Самоубийство	2,2 · 10 ⁻⁴

Полученные в данной работе вероятности соматико-стохастических эффектов для здоровья населения при разных способах получения электроэнергии в Украине занимают позиции после заболеваний сердечно-сосудистой системы, возникновения злокачественных новообразований при работе ТЭС, природных катастроф и чрезвычайных ситуаций различного характера при работе АЭС.

Выводы

Разработанная авторами методика комплексной оценки экологического риска позволит в комплексе оценить ранее недостаточно изученную химическую и радиационную составляющие в реализации хронического риска с целью установления соматико-стохастических эффектов у населения, длительно проживающего в районах эксплуатации ТЭС и АЭС, и разработки обосновывающих решений по минимизации экологического риска.

Установлено, что экологический риск для здоровья населения в процессе производства электроэнергии на ТЭС обусловлен в большей степени воздействием радиационной составляющей, чем химической. При производстве электроэнергии на ЮУ АЭС вклад химической составляющей в экологический риск для здоровья населения пренебрежимо мал.

Комбинированный риск за счет радиационных и химических факторов воздействия на здоровье населения при работе ТЭС на 1 ГВт (эл.) почти в 400 раз больше, чем при работе АЭС.

Выявлено, что величина радиационной составляющей существенно больше химической составляющей в реализации экологического риска при производстве электроэнергии как на ТЭС, так и АЭС Украины [19].

Список литературы

1. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS). <http://www.epa.gov/iris>.
2. Radiation Protection. ICRP Publication 60. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP). — N.Y.: Pergamon Press, 1991. — 197 p.
3. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection/ Publication 103: Recommendation of the ICRP. Annals of the ICRP Volume 37/2-3.
4. Sources, effects and risks of ionizing radiation // United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 1988 Report to the General Assembly with annexes. — New York, 1988. — 123 p.
5. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины: Монография. — Х.: ИД «Инжэк», 2008. — 264 с.
6. Карташов В. В. Радіаційний вплив викидів АЕС та ТЕС України на навколишнє середовище та населення: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01 / В. В. Карташов; [Український науково-дослідний інститут екологічних проблем]. — Х., 2004. — 21 с.
7. Витько В. И., Гончарова Л. И., Карташев В. В., Коваленко Г. Д. Оценка радиационного воздействия тепловых электро-

станций Украины на население // Ядерная и радиационная безопасность. — 2002. — № 2. — С. 99—106.

8. Онкологическая «цена» тепловой и атомной энергии / Л. А. Ильин, В. А. Книжников, Н. К. Шандала и др.; Под ред. Л. А. Ильина и И. П. Коренкова. — М.: Медицина, 2001. — 240 с.

9. Коваленко Г. Д., Пивень А. В. Экологический риск нарушения состояния атмосферного воздуха при воздействии выбросов тепловых электростанций Украины // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: 36. статей п'ятої Всеукр. наук.-практ. конф. 10—11 грудня 2009 р. — Запоріжжя, 2009. — С. 203—205.

10. Крылов Д. А., Путинцева В. Е., Крылов Е. Д. Исследование экологических последствий использования угля вместо природного газа в электроэнергетике России. — М: Междунар. центр по эколог. безопасности Минатома России., 2001.

11. Саноцкий И. В., Уланова И. П. Критерии вредности в гигиене и токсикологии при оценке опасности химических соединений. — М., 1975. — 328 с.

12. Сравнительная канцерогенная эффективность ионизирующего излучения и химических соединений. Публикация 96 НКРЗ США. — М., 1992.

13. Демин В. Ф., Голиков В. Я., Иванов Е. В. и др. О нормировании и сравнении риска от разных источников вреда здоровью человека. — М.: Междунар. центр по эколог. безопасности Минатома России, 2001.

14. Демин В. Ф. О линейной зависимости доза—эффект для радиационного и химического риска // Гигиена и санитария. — 2003. — № 6. — С. 37—39.

15. Румянцев Г. И., Новиков С. М. Проблемы прогнозирования токсичности риска воздействия химических веществ на здоровье населения // Гигиена и санитария. — 1997. — № 6. — С. 13—8.

16. Ваганов П. А., Ман-Сунг Им. Экологические риски: Учеб. пособие. — Изд-е 2-е. — СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2001. — 152 с.

17. Hallenbeck W. H. Quantitative Risk Assessment for Environmental and Occupational Health. Boca-Raton, 1993. — 212 p.

18. Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97); Государственные гигиенические нормативы. — К.: Отдел полиграфии Укр. центра Госсанэпиднадзора М-ва здравоохранения Украины, 1998. — 134 с.

19. Коваленко Г. Д., Пивень А. В. Экологический риск для здоровья населения при воздействии выбросов ТЭС Украины // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: 36. наукових статей шостої наук.-практ. конф. 6—10 вересня 2010 р. — АР Крим, м. Алушта, 2010. — Т. 1. — С. 155—161.

20. Бойко В. И., Кошелев Ф. П. Научно-метод. публ. Что должен знать каждый грамотный человек о радиации — 1993. <http://www.antigreen.org/lib/koshelev/index.html>

Надійшла до редакції 02.09.2010.