



УДК 614.8:502.5+614.7:049.3

**МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ДЛЯ  
ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЭС УКРАИНЫ**  
**METHODOLOGICAL ASPECTS OF ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT FOR  
HUMAN HEALTH IN THE OPERATION OF THE THERMAL POWER PLANTS IN  
UKRAINE**

**Г.Д. Коваленко, А.В. Хабарова (Пивень)**  
**G.D. Kovalenko, A.V. Khabarova (Piven)**

*Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем, Украина, 61166, г. Харьков,  
ул. Бакулина, 6*

*Ukrainian Scientific Research Institute of Ecological Problems, 6, Bakulina St, Kharkov, 61166, Ukraine*

*E-mail: anetp@ukr.net; kovalenko@niiep.kharkov.ua*

*Ключевые слова:* выбросы ТЭС, химические и радиационные факторы, оценка экологического риска для здоровья населения, рекомендации по снижению экологического риска.

*Key words:* emissions of thermal power plants, chemical and radiological factors, ecological risk to human health.

*Аннотация.* В статье приведен концептуальный подход для оценки экологического риска для здоровья населения при воздействии химических не канцерогенных и канцерогенных, а также радиоактивных выбросов ТЭС. Дана оценка существующим подходам и предложена комплексная оценка экологического риска для здоровья населения. Предложены и уточнены коэффициенты для расчета экологического риска при воздействии не канцерогенных выбросов ТЭС. Приведены показатели экологического риска для здоровья населения. Предложены рекомендации по снижению экологического риска для здоровья населения при воздействии выбросов ТЭС.

*Resume.* In this article the conceptual approach of ecological risk to the human health estimation from the influence of chemical not carcinogenic, carcinogenic and radioactive emissions of thermal power plant (TPP) is described.

The priority harmful substances contained in coal combustion products of thermal power plants of Ukraine are studied: chemical gaseous substances ( $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ), particulate matter, heavy metals, benzo(a)pyrene and radioactive substances ( $^{226}Ra$ ,  $^{210}Pb$ ,  $^{228}Th$ ). The evaluation of existing approaches of the ecological risk is presented.

The main aim is to estimate the environmental health risk when exposed not carcinogenic, carcinogenic and radioactive releases into the atmosphere of large thermal power plants in Ukraine (over 300 MW) operating in the normal mode.

The rate of existing approaches of ecological risk to the human health estimation is evaluated. The integrated ecological risk to human health evaluation is proposed. The coefficients for calculating ecological risk from exposed to not carcinogenic emissions of TPP are proposed and are refined.

The method of integrated ecological risk to human health makes it possible to evaluate the radiation and chemical components in the implementation of environmental health risk in united rates of somatic stochastic effects on the individual unit doses and the number of additional cases of somatic stochastic effects unit collective dose with using the coefficients ecological risk factors for human health.

The rates of ecological risk to human health are given. The references including the ecological risk reduction to human health for the influence of emissions of thermal power plants are proposed.

The main contribution to the implementation of the ecological risk in terms of probability of somatic stochastic effects in the population due to the expense of exposure to chemical carcinogenic emissions of heavy metal of Cr and gaseous emissions  $SO_2$ ,  $NO_x$  and no carcinogenic emissions of Cu and Zn of the studied TPPs of Ukraine.

## **Введение**

Методология анализа риска при воздействии вредных факторов окружающей среды на здоровье населения является новым, интенсивно развиваемым во всем мире междисциплинарным научным направлением.

В настоящее время методология оценки риска воздействия вредных веществ на состояние здоровья широко применяется в большинстве развитых стран мира и рекомендована Всемирной Организацией Здравоохранения и Международной комиссией по радиационной защите (далее МКРЗ) в качестве ведущего инструмента при определении количественного ущерба для здоровья населения от воздействия неблагоприятных факторов окружающей среды. По данному направлению разработано значительное количество методов для установления различных видов риска и различных причин, обусловивших необходимость проведения такой оценки.

Концепция риска в целом представляет собой системный подход, включающий основные элементы: оценку риска, управление риском и восприятие риска. Эти три взаимосвязанных аспекта единого процесса принятия решений, основанного на характеристике риска [Швыряев, Меньшиков, 2004]. Наиболее разработанными представляются проблемы идентификации опасностей и процедуры оценки риска при нормальном и аварийном функционировании опасных производств и объектов [Владимиров, 2005]. Вопросы управления рисками для промышленного региона пока находятся на концептуальной стадии и требуют разработки нетрадиционных методов и подходов на междисциплинарном уровне [Порфирьев, 1990].

За последние десятилетия сформировались достаточно четкие структурные элементы и методы анализа риска [Порфирьев, 1990], а также его направления, которые связаны с последующей дифференциацией областей применения анализа риска в экологии: оценка риска новых технологий, кумулятивного и суммарного эффектов влияния токсичных веществ на здоровье человека и экосистемы. Однако в литературных источниках наблюдается разрозненность научных представлений, как о самом понятии экологического риска, так и о методах его оценивания.

#### Проблемы использования существующих методов оценки экологического риска и перспективы развития.

В мировой практике существует четыре разных подхода к оценке экологического риска [Акимов, 2002]:

1. Инженерный метод анализа опасностей с применением упрощенных методик количественной оценки риска на основе принятых критериев – опирается на статистику поломок и аварий, на вероятностный анализ безопасности. Недостатком является невысокая точность результатов, вследствие чего использование количественных показателей (в частности, вероятности возникновения аварии) в качестве критериев безопасности для сложных производств, как правило, не оправдано.

2. Модельный метод анализа чувствительности и анализа сценариев – проводится через построение моделей воздействия вредных факторов на человека и окружающую среду. Недостатком метода является то, что не учитывается вероятность и реалистичность ожидаемых изменений отдельных параметров (факторов) события, а также то, что изменения параметров события могут иметь совместный, а не изолированный характер.

3. Экспертный метод – применяется, если объем исходной информации является недостаточным для количественной оценки риска (погрешность результатов превышает 30%). Достоинствами экспертного анализа рисков являются: отсутствие необходимости в точных исходных данных и дорогостоящих программных средствах, возможность проводить оценку до расчета эффективности проекта, а также простота расчетов. Недостатком данного метода являются: трудность в привлечении независимых экспертов и субъективность оценок [Порфирьев, 1990].

4. Социологический метод определения риска является статистическими исследованиями и основывается на системе методологических, методических и организационно-технических мероприятий, направленных на получение достоверных данных о явлении или процессе, которые изучаются, для их последующего использования по уменьшению опасности здоровья населения.

Согласно определению Национальной академии наук США [Акимов, 2002], оценка риска – это использование доступной научной информации и научно обоснованных прогнозов для оценки опасности воздействия вредных факторов окружающей среды и условий на здоровье человека. При этом подчеркивается, что риск для здоровья человека, связанный с загрязнением окружающей среды, возникает при следующих необходимых и достаточных условиях:

- существование самого источника риска;
- присутствие данного источника риска в определенной, вредной для человека дозе;
- подверженность населения воздействию дозы вредного вещества.

Перечисленные условия образуют в совокупности реальную угрозу или опасность для здоровья человека.

Оценка риска для здоровья, основанная на данных социально-гигиенического мониторинга имеет ряд неопределенностей:

- вызванных проблемами статистической выборки;
- в моделях воздействия или моделях «доза–эффект», особенно на уровне доз малой интенсивности;



- связанных с формированием исходной выборки баз данных [U.S. Environmental Protection Agency (EPA)] и [Risk & Decision Making, 1992].

Выше приведенные методы оценки экологического риска не позволяют сравнивать воздействие факторов различной природы на здоровье человека в единых показателях, что является главным недостатком существующих методик.

Подход на основе анализа риска как количественной оценки особенно важен на региональном уровне, в первую очередь, для регионов, где сосредоточен значительный потенциал опасных производств и объектов в сочетании со сложной социально-политической обстановкой и недостаточным финансированием [Владимиров, 2005].

Риск при нормальном функционировании промышленных объектов может быть обусловлен за счет выбросов или утечки вредных или опасных веществ в количествах, превышающих санитарно-гигиенические нормативы и оказывающих постоянное воздействие на здоровье населения и окружающую среду [Владимиров, 2005].

Анализ источников загрязнения в приземном слое атмосферного воздуха выбросами ТЭС Украины за период 2001–2012 гг.

Крупными тепловыми электростанциями (более 300 МВт) в Украине являются Угледорская, Старобешевская, Кураховская, Славянская, Зуевская (Донецкая обл.), Приднепровская, Криворожская (Днепропетровская обл.), Луганская (Луганская обл.), Добротворская (Львовская обл.), Бурштынская (Ивано-Франковская обл.), Запорожская (Запорожская обл.), Ладыйжинская (Винницкая обл.), Трипольская (Киевская обл.) и Змиевская (Харьковская обл.). По характеру воздействия на окружающую среду ТЭС, работающие на каменном угле, ответственны за 33% всех выбросов в приземный слой атмосферного воздуха по Украине и являются объектами повышенного экологического риска [Коваленко, Пивень, 2009].

Приоритетными вредными веществами, которые содержатся в продуктах сгорания каменного угля исследуемых ТЭС Украины, являются химические газообразные вещества ( $SO_2$ ,  $NO_x$ ,  $CO$ ), твердые частицы, тяжелые металлы, бенз(а)пирен и радиоактивные вещества ( $^{226}Ra$ ,  $^{210}Pb$ ,  $^{228}Th$ ) [Бойко, 2006]. В таблице 1 приведены расчетные величины среднегодовых выбросов и среднегодовых концентраций химических веществ и эффективная доза облучения для радиоактивных веществ, а также их возможные последствия для человека в результате хронического воздействия. Среднегодовые концентрации химических веществ и эффективная доза облучения для радиоактивных веществ приведены для расстояния 1 км от источника.

Таблица 1

Показатели, используемые при оценке экологического риска для здоровья населения при нормальной эксплуатации ТЭС, работающей на каменном угле

Table 1

Indicators used for the environmental health risk assessment in normal TPP operating on coal

Параметр	Среднегодовой выброс, тыс. т/ГВт(эл.)·год	Среднегодовая концентрация, мг/м <sup>3</sup> (ГВт(эл.)·год)	Возможные последствия на организм человека
1	2	3	4
Не канцерогенные вещества			
$SO_2$	95.4	$6.23 \times 10^{-1}$	Раздражение слизистых оболочек глаз и дыхательных путей
$NO_x$	14.2	$9.69 \times 10^{-1}$	Раздражение дыхательных путей и легких, увеличение риска респираторных инфекций
$CO$	0.96	$6.24 \times 10^{-3}$	Ощущение усталости или сонливости без видимых причин, головокружение, боли в груди и желудке. Длительное воздействие может приводить к потере сознания, коме и смерти.
Твердые частицы	33.7	$2.20 \times 10^{-1}$	Фиброгенное воздействие, заключающееся в раздражении слизистых оболочек дыхательных путей. При длительном вдыхании пыли возникают пневмокониозы, силикозы.
$Pb$	$4.12 \times 10^{-3}$	$2.85 \times 10^{-5}$	Дефицит гемоглобина, развитие анемии, нейротоксическое воздействие.
$Cu$	$3.91 \times 10^{-3}$	$2.70 \times 10^{-5}$	Развитие ишемической болезни сердца, кишечные отравления с тошнотой.
$Zn$	$1.36 \times 10^{-2}$	$9.39 \times 10^{-5}$	Остановка в росте, гемолиз, снижение содержания гемоглобина, деградация тканей печени, почек, мозга.

Окончание таблицы 1  
End of table 1

1	2	3	4
Hg	$3.74 \times 10^{-4}$	$2.59 \times 10^{-6}$	Хронический гастрит, поражение почек, протеинурия, развитие нефротического синдрома. В коре головного мозга, преимущественно затылочных долей и в области задних рогов боковых желудочков, выявляются диссеминированные очаги атрофии.
V	$1.98 \times 10^{-4}$	$1.37 \times 10^{-6}$	Конъюнктивиты, назофарингиты, дерматиты, бронхиты, бронхиальная астма, пневмосклероз.
Канцерогенные вещества			
Ni	$4.45 \times 10^{-3}$	$3.08 \times 10^{-5}$	Развитие новообразований (легкие, почки, кожа, полость рта, носа, желудка), влияние на ДНК и РНК. Респираторные и эндемические заболевания, бронхиальный рак.
Cr	$5.86 \times 10^{-3}$	$4.06 \times 10^{-5}$	Раздражающее действие и поражение желудочно-кишечного тракта, поджелудочной железы, головокружение, слабость, тошнота, носовые кровотечения, раздражение верхних дыхательных путей (трахеит, бронхит, отек легких), поражение печени и почек, расширение сердца, поражение нервной системы, рак (практически все формы).
As	$1.55 \times 10^{-4}$	$1.07 \times 10^{-6}$	Эмбриотоксический и тератогенный эффект, головная боль, головокружение, одышка, снижение кровяного давления, функциональное нарушение ЦНС, рак легких, полости рта, носа, желудка.
Cd	$2.20 \times 10^{-3}$	$1.52 \times 10^{-5}$	Поражает почки и печень, вызывает анемию, оказывает мутагенное и канцерогенное действие на организм человека
BenzO	$6.43 \times 10^{-6}$	$4.45 \times 10^{-8}$	Злокачественные новообразования всех органов и систем организма
Радиоактивные вещества			
Естественные радионуклиды*	33.7	29.9	Злокачественные новообразования всех органов и систем организма.

Примечание: \* – в таблице в колонке среднегодовая концентрация для ионизирующего излучения стоит величина эффективной дозы облучения от естественных радионуклидов, выражаемая в мкЗв/ГВт(эл.)·год.

### Методика оценки экологического риска.

Выделяют основные элементы процедуры его оценки, которые подразделяются на четыре этапа [Быков, 1999; Захарова, Меньшиков, 2001]:

1. Идентификация опасности;
2. Оценка воздействующих доз (экспозиции);
3. Оценка зависимости «доза–эффект» (ответ);
4. Характеристика риска.

В рамках предлагаемого подхода рассматривается оценка экологического риска, где рецептором (чувствительным звеном) является человек.

В работе предлагается подход к комплексной оценке экологического риска для здоровья населения, длительно проживающего в районах размещения и эксплуатации ТЭС Украины, при хроническом воздействии малых доз ионизирующего излучения в сочетании с химическими не канцерогенными и канцерогенными компонентами выбросов ТЭС, работающих на каменном угле.

На рисунке 1 приведен алгоритм оценки экологического риска, предложенный авторами, в соответствии с которым предполагается оценка канцерогенных и не канцерогенных химических и радиоактивных веществ [Коваленко, Хабарова, 2012].

Целью работы является оценка экологического риска для здоровья населения при воздействии не канцерогенных, канцерогенных и радиоактивных выбросов в атмосферу крупных ТЭС Украины (более 300 МВт), работающих в штатном режиме.

Под термином «экологический риск» в данной работе понимается вероятность развития неблагоприятных эффектов для здоровья человека вследствие загрязнения

окружающей природной среды радиоактивными и вредными химическими веществами [Коваленко, Хабарова, 2012].



Рис. 1. Алгоритм оценки экологического риска  
 Fig. 1. Algorithm of environmental risk assessment

Заключительная стадия модели оценки экологического риска при эксплуатации ТЭС, характеристика экологического риска, одновременно является первым звеном процедуры управления им. Основная цель управления экологическим риском при эксплуатации ТЭС складывается в выявлении путей снижения риска при заданных ограничениях на ресурсы и время.

Согласно беспороговому принципу, воздействие как радиоактивных, так и химических веществ даже в малых дозах считается вредным, т. е. способно вызвать патологические изменения в организме человека [Публикация НКРЗ 96; Демин и др. 2001; Демин, 2006]. Поэтому для оценки риска используют линейные модели интерполяции зависимости «доза—эффект» в области малых доз загрязняющих веществ.

Совокупное воздействие ионизирующего излучения и химических веществ на организм человека вызывает различные неблагоприятные эффекты, которые проявляются в отдаленные периоды. В исследованиях [Публикация НКРЗ 96; Демин и др. 2001; Демин, 2006] отмечен идентичный характер их связей: при снижении дозы частота эффекта снижается, а латентный период возникновения случаев соматико-стохастических эффектов увеличивается [ICRP Publication 103].

В основе предлагаемом авторами методе комплексной оценки экологического риска используется вероятностный подход для определения ожидаемого числа дополнительных случаев возникновения соматико-стохастических эффектов в популяции при фактических уровнях воздействия исследуемых химических или радиоактивных веществ [Коваленко, Хабарова, 2012; Коваленко, Хабарова 2014].

Метод комплексной оценки экологического риска позволяет оценить радиационную и химическую составляющую в реализации экологического риска для здоровья населения в единых показателях вероятности развития соматико-стохастических эффектов на единицу индивидуальной дозы и количество дополнительных случаев соматико-стохастических эффектов на единицу коллективной дозы с использованием коэффициентов риска для здоровья населения.

В работе предлагаются уточненные и дополненные данными по веществам коэффициенты для не канцерогенных химических веществ, рассчитанные авторами и учитывающие вероятность развития соматико-стохастических эффектов, отнесенные к единице дозы (табл. 2). Коэффициенты для оценки риска, обусловленного канцерогенными веществами, взяты из [U.S. Environmental Protection Agency (EPA)] и пересчитаны на единицу



дозы вещества, поступающего в организм человека в мг. Радиационный риск рассчитан с использованием коэффициента, рекомендованного МКРЗ [ICRP Publication 103].

Таблица 2  
Коэффициенты риска возникновения соматико-стохастических эффектов, отнесенные к единице дозы

Table 2  
Risk coefficients of somatic stochastic effects per unit dose

Не канцерогенные вещества	$F_{Dch}, \text{мг}^{-1}$
$SO_2$	$1.54 \times 10^{-9}$
$NO_x$	$3.09 \times 10^{-9}$
$CO$	$4.11 \times 10^{-11}$
Твердые частицы	$8.23 \times 10^{-10}$
$Pb$	$8.23 \times 10^{-7}$
$Cu$	$6.17 \times 10^{-6}$
$Zn$	$1.37 \times 10^{-6}$
$Hg$	$4.11 \times 10^{-8}$
$V$	$1.76 \times 10^{-6}$
Канцерогенные вещества	$F_{Dch}, \text{мг}^{-1}$
$Ni$	$5.09 \times 10^{-7}$
$Cr$	$2.35 \times 10^{-5}$
$As$	$8.39 \times 10^{-6}$
$Cd$	$3.52 \times 10^{-6}$
Бенз(а)пирен	$1.73 \times 10^{-6}$
Радиоактивные вещества	$F_{Dr}, \text{ЗВ}^{-1}$
	$5.70 \times 10^{-2*}$

Оценка экологического риска основана на установлении причинно-следственных связей между показателями здоровья населения и факторами загрязнения окружающей среды [Коваленко, Пивень, 2010; Коваленко, Хабарова, 2012].

С целью установления причинно-следственной связи при воздействии не канцерогенных и канцерогенных химических веществ и возникновения соматико-стохастических эффектов у населения, проживающего в течение 70 лет в районах эксплуатации ТЭС Украины, работающих на каменном угле, применяется зависимость между дозой вредного вещества и вызываемым эффектом. Уровень приемлемого риска для канцерогенных веществ составляет  $10^{-5} \text{ мг}^{-1}$ , а для не канцерогенных –  $10^{-6} \text{ мг}^{-1}$  [Коваленко, Пивень, 2010; Коваленко, Хабарова, 2012].

В работе представлена концептуальная схема процедуры оценки экологического риска для здоровья населения [Швыряев, Меньшиков, 2004] (рис. 2).

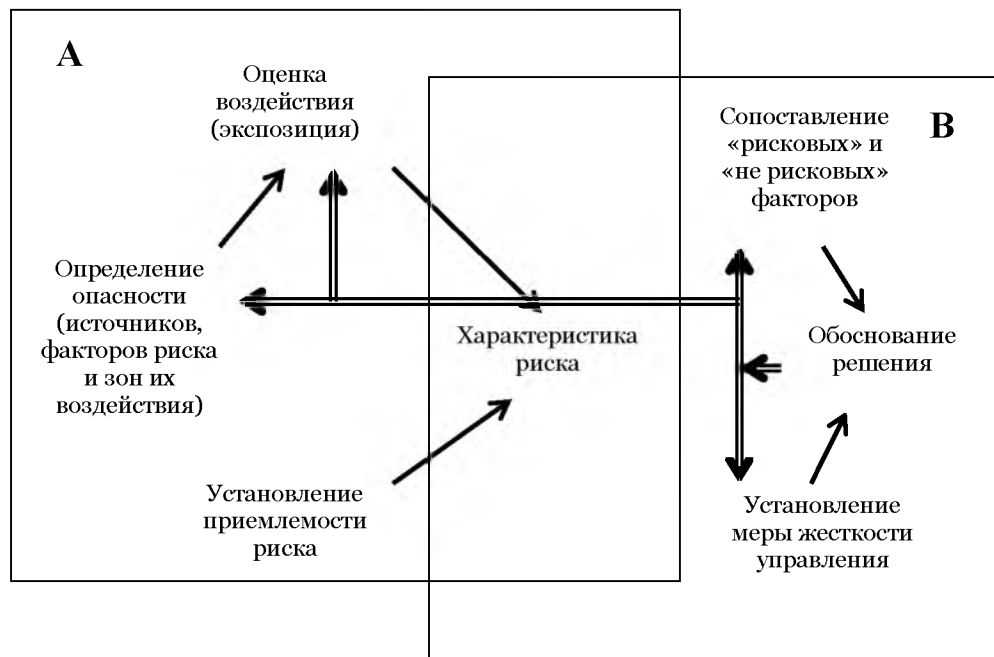


Рис. 2. Концептуальная схема процедуры оценки экологического риска для здоровья населения: А – область оценки риска; В – область управления риском;  $\rightarrow$  – прямые связи между элементами оценки и управлением;

$\Rightarrow$  – обратные связи обоснования решения с другими элементами

Fig. 2. The conceptual diagram of process of the ecological risk assessment for human health A – area of the risk assessment; B – risk management;  $\rightarrow$  – direct connection between the elements of the assessment and management;  $\Rightarrow$  – reverse bonds of the decisionary rationale with other elements



Реализация экологического риска  $r$ , обусловленного присутствием в окружающей природной среде химических канцерогенных и не канцерогенных, а также радиоактивных веществ, зависит от его дозы, поступившей в организм человека.

$$r = f(D), \tag{1}$$

Предполагается, что в области малых доз соотношение между дозой и реакцией на нее является линейным. Кроме того, предполагается, что воздействие химического не канцерогенного и канцерогенного веществ не имеет порога.

Таким образом, гипотеза о линейном беспороговом характере зависимости «доза–эффект» в области малых значений позволяет оценивать вероятность дополнительного риска  $r(D)$  по формуле [Ваганов, 2001; Коваленко, Пивень, 2010; Коваленко Хабарова, 2012]

$$r(D) = F_D \cdot c \cdot v \cdot t, \tag{2}$$

где  $c$  – концентрация химического не канцерогенного и канцерогенного веществ, мг/м<sup>3</sup>;  $D$  – доза химического не канцерогенного и канцерогенного веществ, мг;  $F_D$  – коэффициент риска, представляющий собой риск, который показывает дополнительный риск, отнесенный к единице дозы, мг<sup>-1</sup>;  $v$  – интенсивность ежедневного поступления в организм человека химического не канцерогенного и канцерогенного веществ, м<sup>3</sup>/сут;  $t$  – время воздействия вредного токсического (канцерогенного) вещества за 70 лет, сут.

#### 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

$$r_{ch} = F_{Dch} \cdot D_{ind\ ch}, \tag{3}$$

где  $D_{ind\ ch}$  – индивидуальная доза химического вещества, мг;  $F_{Dch}$  – коэффициент пропорциональности, определяющий наклон кривой доза – эффект при воздействии химического вещества, отражающий степень нарастания риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу, мг<sup>-1</sup>.

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

$$R_{ch} = D_{col\ ch} \cdot F_{Dch}, \tag{4}$$

где  $D_{col\ ch}$  – коллективная доза химического вещества, чел.-мг

#### Радиационная составляющая.

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

$$r_r = F_{Dr} \cdot D_r, \tag{5}$$

где  $D_r$  – доза ионизирующего излучения, Зв;  $F_{Dr}$  – коэффициент пропорциональности, определяющий наклон кривой доза – эффект при воздействии ионизирующего излучения, отражающий степень нарастания риска с увеличением воздействующей дозы на одну единицу, Зв<sup>-1</sup>.

Ожидаемое количество случаев соматико-стохастических эффектов при воздействии ионизирующего излучения в группе определяется соотношением [ICRP Publication 103]

$$R_r = F_{Dr} \cdot S, \tag{6}$$

где  $S$  – коллективная эффективная эквивалентная доза, чел.·Зв.

Экологический риск при воздействии выбросов исследуемых ТЭС Украины при нормальных условиях эксплуатации.

Радиационная и химическая составляющие экологического риска при хроническом воздействии выбросов в атмосферу исследуемых ТЭС за период 2001–2012 гг., рассчитаны с применением метода комплексной оценки экологического риска, предложенного в работах [Коваленко, Пивень, 2010; Коваленко, Хабарова, 2012] и уточненных коэффициентов приведенных в данной работе.



Показатели экологического риска для здоровья населения от химических и радиоактивных выбросов ТЭС Украины, усредненные за период 2001-2012 гг., приведены в таблице 3.

Таблица 3

## Показатели экологического риска для здоровья населения

Table 3

## Indicators of the ecological human health risk

Параметр	Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт(эл.)·год	Количество случаев соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт(эл.)·год
Не канцерогенные вещества		
$SO_2$	$5.44 \times 10^{-4}$	6.78
$NO_x$	$1.70 \times 10^{-4}$	2.11
$CO$	$1.45 \times 10^{-7}$	$1.81 \times 10^{-3}$
Твердые частицы	$1.03 \times 10^{-4}$	1.28
$Pb$	$1.33 \times 10^{-5}$	$3.29 \times 10^{-1}$
$V$	$1.37 \times 10^{-6}$	$3.39 \times 10^{-2}$
$Hg$	$6.03 \times 10^{-8}$	$1.49 \times 10^{-3}$
$Cu$	$9.46 \times 10^{-5}$	2.34
$Zn$	$7.30 \times 10^{-5}$	1.81
Канцерогенные вещества		
$Ni$	$8.88 \times 10^{-6}$	$2.20 \times 10^{-1}$
$Cr$	$5.41 \times 10^{-4}$	13.4
$As$	$5.11 \times 10^{-6}$	$1.27 \times 10^{-1}$
$Cd$	$3.04 \times 10^{-5}$	$7.52 \times 10^{-1}$
Бенз(а)пирен	$4.37 \times 10^{-8}$	$1.08 \times 10^{-3}$
Радиоактивные вещества	$1.20 \times 10^{-4}$	13.0

При работе исследуемых угольных ТЭС Украины выбросы химических веществ вносят более существенный вклад в экологический риск в показателях вероятности соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт(эл.)·год для здоровья населения, чем риск, обусловленный воздействием ионизирующего излучения.

Вероятность соматико-стохастических эффектов на 1 ГВт(эл.)·год для здоровья населения определено за счет воздействия  $SO_2$ ,  $NO_x$  и канцерогенных веществ тяжелых металлов, обусловленных выбросами  $Cr$ , и не канцерогенных веществ, обусловленных выбросами  $Cu$  и  $Zn$ .

### Заключение

Предложенный метод комплексной оценки позволил оценить экологический риск, обусловленный химическими канцерогенными и не канцерогенными выбросами тяжелых металлов, и радиоактивными выбросами для населения, длительно проживающего в районах размещения и эксплуатации ТЭС.

Суммарный индивидуальный экологический риск за счет воздействия всех исследуемых компонентов химических выбросов в атмосферу исследуемых ТЭС Украины составляет величину  $1.58 \times 10^{-3}$  на 1 ГВт(эл.)·год, что более чем в 10 раз больше величины риска, обусловленного радиоактивными выбросами.

Суммарный индивидуальный экологический риск за счет воздействия всех исследуемых газообразных выбросов исследуемых ТЭС Украины составляет величину  $7.14 \times 10^{-4}$  на 1 ГВт(эл.)·год.

Основной вклад в реализацию канцерогенного риска для населения обусловлен выбросами  $Cr$  в составе летучей золы.

Наиболее существенный вклад в реализацию не канцерогенного риска для населения обусловлен выбросами газообразных веществ  $SO_2$ ,  $NO_x$  и тяжелых металлов  $Cu$ ,  $Zn$  в составе летучей золы.

Суммарный индивидуальный риск за счет воздействия химических не канцерогенных выбросов тяжелых металлов исследуемых ТЭС Украины составляет величину  $1.82 \times 10^{-4}$  на 1 ГВт(эл.)·год что почти в 4 раза меньше величины риска обусловленного канцерогенными выбросами тяжелых металлов и бенз(а)пирена –  $5.85 \times 10^{-4}$  на 1 ГВт(эл.)·год.



Вероятность соматико-стохастических эффектов у населения, обусловленных выбросами химических и радиоактивных веществ на 1 ГВт(эл.)·год произведенной энергии, составляет  $1.70 \times 10^{-3}$ .

Количество случаев соматико-стохастических эффектов у населения, обусловленных выбросами химических веществ на 1 ГВт(эл.)·год произведенной энергии, составляет 29.2 случая, что более чем в два раза превышает риск за счет радиоактивных выбросов – 13.2 случаев.

Количество случаев соматико-стохастических эффектов, обусловленных выбросами химических и радиоактивных веществ, для населения Украины с учетом произведенной энергии за год, составляет 387 случаев.

Мероприятия по снижению экологического риска для здоровья населения, обусловленного химическими и радиоактивными выбросами, первоначально необходимо направить на совершенствование технических и технологических процессов, связанных с очисткой выбрасываемой летучей золы в атмосферу при работе ТЭС Украины на каменном угле.

### Список литературы References

1. Акимов В.А. 2002. Надежность технических систем и техногенный риск [The reliability of technical systems and technological risks]. М., ЗАОФИД «Деловой экспресс», 368.

Akimov V.A. 2002. Nadezhnost' tehničkih sistem i tehnogenyj risk. [The reliability of technical systems and technological risks]. Moscow, ZAOFID "Delovoj jekspress", 368. (in Russian)

2. Бойко Л.М., Горішна О.В., Забулонов Ю.Л., Лисиченко Г.В. 2006. Звіт про НДР. Розробка державних науково-технічних програм для забезпечення екологічної безпеки у сфері паливно-енергетичного комплексу. 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. К., ІГНС НАН та МНС України, 129.

Bojko L.M., Gorishna O.V., Zabolonov Ju.L., Lisichenko G.V. 2006. Zvit pro NDR. Rozrobka derzhavnih naukovo-tehničnih program dlja zabezpečennja ekologičnoї bezpeki u sferi palivno-energetičnogo kompleksu. Porivnjal'nij analiz shhodo stupenju ekologičnogo riziku pri prozhivanni naseleńnja v zonah vplivu AES ta TES. T. 12. Pro stupin' ekologičnoї nebezpeki dlja prozhivannja naseleńnja v zonah vplivu AES i TES [Scientific report Development of state scientific and technical programs to ensure environmental safety in the energy sector. Comparative analysis of the degree of environmental risk when staying population in zones around nuclear power plants and thermal power plants. Vol. 12. The degree of environmental hazards for the population living in zones around nuclear power plants and thermal power plants]. Kiev, Institute of Environmental Geochemistry, National Academy of Sciences of Ukraine and Ministry of Ukraine of Emergencies, 129. (in Ukrainian)

3. Быков А.А., Соленова Л.Г., Земляная Г.М., Фурман В.Д. 1999. Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды. Москва, Анкил.

Bykov A.A., Solenova L.G., Zemljanaja G.M., Furman V.D. 1999. Guidelines for analysis and risk management impact on health of environmental hazards. Moscow, Ankil. (in Russian)

4. Ваганов П.А., Ман-Сунг Им. 2001. Экологические риски. Санкт-Петербург, Изд-во СПбГУ, 152.

Vaganov P.A., Man-Sung Im. 2001. Jekologičeskie riski [Ecological risks]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPbGU, 152. (in Russian)

5. Владимирова В.А. 2005. Радиационная и химическая безопасность населения. М., Деловой экспресс, 544.

Vladimirova V.A. 2005. Radiacionnaja i himičeskaja bezopasnost' naselenija [Radiation and chemical safety of population]. Moscow, Delovoj jekspress, 544. (in Russian)

6. Демин В.Ф., Голиков В.Я., Иванов Е.В. и др. 2001. О нормировании и сравнении риска от разных источников вреда здоровью человека. М., Международный центр по экологической безопасности Минатома России, 2001.

Demin V.F., Golikov V.Ja., Ivanov E.V. et al. 2001. On normalization and comparison of risk from a variety of sources of harm to human health. Moscow, Mezhdunarodnyj centr po jekologičeskoj bezopasnosti Minatoma Rossii. (in Russian)

7. Демин В.Ф. 2003. О линейной зависимости доза-эффект для радиационного и химического риска. Гигиена и санитария, (6): 37–39.

Demin V.F. 2003. On the linear dose-effect of radiation and chemical risks. Gigiena i sanitarija, (6): 37–39. (in Russian)

8. Захарова Т.В., Меньшиков В.В. 2001. Проведение оценки риска для здоровья населения от загрязнения подземных и поверхностных вод в районах размещения отвалов промышленных отходов. В кн.: Проблема оценки риска загрязнения поверхностных и подземных вод в структуре ТЭК. М., ВНИИГАЗ, 157–180.

Zaharova T.V., Men'shikov V.V. 2001. Assessment of risk to human health from the contamination of groundwater and surface water in areas where industrial waste dumps. In: Problema ocenki riska zagrjaznenija



poverhnostnyh i podzemnyh vod v strukture TJeK [The problem of evaluation of risk's contamination of the surface and groundwater in the structure of fuel and energy complex]. Moscow, VNIIGAZ, 157-180. (in Russian)

9. Коваленко Г.Д., Пивень А.В. 2009. Экологический риск нарушения состояния атмосферного воздуха при воздействии выбросов тепловых электростанций Украины. В кн.: Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України. V Всеукраїнська науково-практична конференція (м. Запоріжжя, 10-11 грудня 2009). Запоріжжя, 203-205.

Kovalenko G.D., Piven' G.V. 2009. Jekologicheskij risk narushenija sostojanija atmosfernogo vozduha pri vozdejstvii vybrosov teplovih jelektrostantsij Ukrainy. In: Ohorona navkolishn'ogo seredovishha promislovih regioniv jak umova stalogo rozvitku Ukraini. V Vseukraїns'ka naukovo-praktichnaya konferenciya (Zaporizhzhja, 10-11 grudnja 2009) [Environmental protection industrial regions as a condition for sustainable development of Ukraine. V All-Ukrainian scientific conference (Zaporozhye, 10-11 December 2009)]. Zaporozhye, 203-205. (in Russian)

10. Коваленко Г.Д., Пивень А.В. 2010. Экологический риск для здоровья населения при воздействии выбросов ТЭС и АЭС Украины. Ядерная и радиационная безопасность, (4): 50-56.

G.D. Kovalenko, A.V. Piven'. 2010. Environmental public health risk when exposed to emissions of TPP and NPP in Ukraine. Jadernaja i radiacionnaja bezopasnost' [Nuclear and Radiation Safety], (4): 50-56. (in Russian)

11. Коваленко Г.Д., Хабарова А.В. 2012. Комплексный подход к оценке экологического риска для здоровья населения при воздействии выбросов топливно-энергетического комплекса Украины. Вестник НТУ ХПИ, (1): 71-79.

Kovalenko G.D., Khabarova G.V. 2012. An integrated approach to assessing the environmental health risk when exposed to emissions of the fuel and energy complex of Ukraine. Vestnik NTU HPI, (1): 71-79. (in Russian)

12. Коваленко Г.Д., Хабарова А.В. 2014. Оценка экологического риска для здоровья населения при воздействии химических выбросов ТЭС Украины. В кн.: Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення. VI міжнародна науково-практична конференція (Харків, вересень 2014), Харків, 99-107.

G.D. Kovalenko, G.V. Khabarova. 2014. Assessing the environmental health risk when exposed to chemical emissions TPP Ukraine. In: Ekologichna bezpeka: problemi i shljahi virishennja. VI mizhnarodna naukovo-praktichnaya konferenciya (Harkiv, Veresen' 2014) [Environmental safety: problems and solutions. VI international scientific conference (Kharkiv, September 2014)]. Kharkiv, 99-107. (in Russian)

13. Порфирьев Б.Н. 1990. Итоги науки и техники. Серия Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. Т. 27. Экологическая экспертиза и риск технологий. М., ВИНТИ РАН, 204.

Porfir'ev B.N. 1990. Itogi nauki i tehniki. Seriya Ohrana prirody i vosproizvodstvo prirodnyh resursov. T. 27. Jekologicheskaja jekspertiza i risk tehnologij [The results of science and technology. Series Nature Protection and restoration of natural resources. Vol. 27. Environmental impact assessment and risk technologies]. Moscow, VINITI RAN, 204. (in Russian)

14. Публикация 96 НКРЗ США. 1992. Сравнительная канцерогенная эффективность ионизирующего излучения и химических соединений. Пер. с англ. М., Энергоатомиздат, 190. (Publication 96 NCRP USA. 1988. Comparative Carcinogenicity of Ionizing Radiation and Chemicals. Bethesda, Maryland, 178).

Publikacija 96 NKRZ SSHA. 1992. Sravnitel'naja kancerogenaja jeffektivnost' ionizirujushhego izluchenija i himicheskijh soedinenij [Publication 96 NCRP USA. 1988. Comparative Carcinogenicity of Ionizing Radiation and Chemicals]. Moscow, Jenergoatomizdat, 190. (Publication 96 NCRP USA. 1988. Comparative Carcinogenicity of Ionizing Radiation and Chemicals. Bethesda, Maryland, 178).

15. Швыряев А.А., Меньшиков В.В. 2004. Оценка риска воздействия загрязнения атмосферы в исследуемом регионе. М., Изд-во МГУ, 124.

Shvyrjaev A.A., Men'shikov V.V. 2004. Ocenka riska vozdejstvija zagrjaznenija atmosfery v issleduemom regione [Risk assessment of the impact of air pollution in the study area]. Moscow, Izd-vo MGU, 124. (in Russian)

16. Merkhofer M. 1987. Decision Science and Social Risk Management: A Comparative Evaluation of cost-benefit analysis, decision analysis, and other formal decision-aiding approaches. Dordrecht, Reidel, 340.

17. ICRP 103. Radiation protection. ICRP Publication 103, 2007 Recommendations of the International Commission on Radioecological Protection (ICRP). N.Y., Pergamon Press, 334. Available at: [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).

18. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Integrated Risk Information System (IRIS). Available at: <http://www.epa.gov/iris>.

19. Risk & Decision Making. 1992. A Workshop in Risk Assessment, Risk Management & Risk Communication. U.S. Environmental Protection Agency, (Aug.), 186.