

3. Технологія модифікування сірки складається з двох роздільних процесів: хімічного модифікування сірки проведенням реакції сополімеризації з модифікатором, в даному випадку з ДЦПД, і фізико-хімічного модифікування введенням в розплавлену масу сірки тонкодисперсного структуроутворюючого мінерального наповнювача з метою отримання кінцевого продукту – сірчаної мастики, яка є основою для виготовлення сірчаних бетонів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Орловский Ю.И. Бетоны, модифицированные серой: Дис... д-ра техн. наук: 05.23.05. – Харьков, ХИСИ, 1992. – 529 с.
2. Воронков М.Г., Вязанкин Н.С., Дерягина Э.Н., Нахманович А.С., Усов В.А. Реакции серы с органическими соединениями. – М.: Наука, 1979. – С.19.
3. Щукин В.И. Кристаллизация пластической серы. Автореф. дис. канд. техн. наук. – Львов, ЛПИ, 1984. – 18 с.
4. Dichl L. Dicyclopentadiene (DCPD). Modified Sulphur and Its Use as a Binder, Qustring Sulphur Concrete as an Exemple // Proceedings of the International Symposium On New Uses for Sulphur and Pyrites. Madrid, Spain. Published by the Sulphur Institute, London, p.p. 202 – 214 (1976).
5. Лекае В.М., Елкин Л.Н. Физико-химические и термодинамические константы элементарной серы. – М.: МВУССО РСФСР, 1964. – 162 с.

УДК 699.887.3

*В.В.Кошеленко (Львівський інститут пожежної безпеки МНС України)*

### СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИЙ ПІДХІД ДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ ОБ'ЄКТІВ БУДІВНИЦТВА

У статті представлено результати досліджень щодо забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва на основі економіко-соціальних показників.

*Проблема.* Процес розвитку людства супроводжується поступовим віддаленням людини від природи, заміною природи штучним середовищем. Це веде до кризи техногенної цивілізації, основу якої складає протиріччя між людиною і природою, з одного боку, і штучним середовищем і людиною – з іншого.

*Актуальність.* Єдиний вихід з цього становища – це вирішення (людиною) задачі адаптації штучного середовища до природного шляхом мінімізації величини шкідливих факторів, що впливають, на навколишнє середовище.

*Мета роботи.* Для сучасного етапу розвитку суспільства необхідна економічна оцінка ефективності вжитих захисних заходів.

*Методика дослідження.* Антропогенні джерела впливають на людину, живу природу і продуктивні сили суспільства. Витрати на компенсацію їхнього впливу завдають економічних збитків суспільству. Економічний аналіз дає можливість порівняти між собою витрати на захисні заходи і відповідну вигоду, яка оцінюється за недопущеними і ліквідованими збитками. Первинний ефект виявляється в зниженні впливу антропогенних факторів на навколишнє середовище, а кінцевий соціально-економічний ефект дає оцінку захисних заходів. Соціальний ефект виявляється в зниженні захворюваності населення, покращенні умов праці і відпочинку. При цьому виникає необхідність переведення будь-яких

змін навколишнього середовища у вартісну оцінку ефективності або збитків, що адекватно відображає відповідні зміни в економічній системі. Витрати на компенсацію наслідків впливу антропогенних факторів відповідають величині економічних збитків. Розрізняють фактичні і потенційні збитки: перші – враховують реальні завдані збитки і додаткові, витрати на ліквідацію (попередження), а потенційні – збитки, що можуть бути завдані у майбутньому цим фактором. Економічний аналіз дозволяє порівняти між собою витрати на захисні заходи і відповідну вигоду, яка оцінюється за попередженими і ліквідованими збитками. При цьому усі види збитків від впливу антропогенних факторів доцільно виразити в грошовому еквіваленті, що дозволяє подати їх кількість у натуральних показниках витрат.

Економічні збитки формуються під дією трьох груп факторів: **впливу** (характеризує параметри антропогенного джерела); **сприйняття** (являє собою об'єкти, що сприймають вплив антропогенних джерел); **стану** (відображає рівень нормативних економічних показників, що переводять натуральні показники у вартісні). Ці фактори виступають у нерозривному зв'язку і створюють інформаційну базу для розробки емпіричної методики визначення збитків.

При цьому економічний результат не можна відокремлювати від соціального і виграш від реалізації захисних заходів щодо зменшення впливу антропогенних факторів на навколишнє середовище повинен носити соціально-економічний характер.

В ролі загальноприйнятого соціального показника оцінки різних видів небезпеки для людини прийнята ймовірна величина ризику.

Рівні ризику для людини в земних умовах, у яких ми живемо, змінюються в інтервалі від  $10^{-6}$  до  $10^{-2}$ . Джерела ризику за своїм походженням є природними, штучними й антропогенними, котрі зв'язані з видами діяльності людини, спрямованими на задоволення її матеріальних, духовних потреб і забезпечення життєвих функцій. У табл. 1 приведені значення ризику для основних видів діяльності людини [1].

Таблиця 1. Класифікація джерел ризику і їхнього значення в умовах діяльності людини

Джерела ризику	Рівні ризику в рік
Внутрішнє середовище для життя	$10^{-4} \div 10^{-2}$
Природне середовище організму	$3 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-5}$
Штучне середовище для життя	$3 \cdot 10^{-6} \div 10^{-3}$
Професійна діяльність	$10^{-6} \div 10^{-2}$
Непрофесійна діяльність	$10^{-4} \div 10^{-2}$
Соціальне середовище	$10^{-4} \div 10^{-2}$

Рівні ризику в окремих видах діяльності людини мають відносно стійкий характер. Прийнятність ризику, зв'язаного з різними видами діяльності людини, визначається економічними, соціальними і психологічними факторами.

Економічні фактори засновані на порівнянні користі і шкоди від того чи іншого виду діяльності для суспільства (особистості).

Соціальні фактори враховують ступінь небезпеки технології, рівень індивідуального ризику і кількість населення, що наражається на небезпеку. Чим більше людей наражається на небезпеку, тим більше суспільство піклується про їхню безпеку і вживає заходів до зниження індивідуального ризику. Рівні ризику, що встановлюються протягом багатьох років, являють собою емпірично прийнятний баланс між користю і соціальними витратами для суспільства. Психологічні фактори враховують добровільність або примусовість ризику, новизну технології або виду діяльності, поінформованість про небезпеку.

Економічний показник для кожного виду антропогенного впливу на навколишнє середовище розраховується з урахуванням особливості їхніх характеристик і впливу.

До основної групи антропогенних джерел, що впливають на навколишнє середовище і людину, належать і джерела іонізуючих випромінювань. Для іонізуючих джерел випромінювання, на відміну від інших антропогенних груп впливу на навколишнє середовище, характерно те, що органи відчуття людини не дозволяють виявити їх. Разом з тим, вплив будь-якого іонізуючого джерела є небезпечним для здоров'я людини. Наслідки опромінення природними і техногенними іонізуючими джерелами, що мають лінійну безпорогову ймовірність виникнення захворювань від дози, виявляються через тривалий прихований період (роки), що робить важким їх виявлення. Умови життєдіяльності людини в побуті і на виробництві багато в чому залежать від досягнутого рівня радіаційної безпеки. Це пояснюється як збільшенням числа джерел іонізуючих випромінювань (ДІВ), що впливають на людину, так і розширенням знань про їхній негативний вплив на організм людини.

Сучасна концепція радіаційної безпеки населення України визначена в положеннях НРБУ-97 [2], мета яких – збереження здоров'я людини від можливої шкоди, яка завдається від впливу ДІВ; забезпечення безпечної роботи з ДІВ; охорона навколишнього середовища. Внесок постійно діючих груп ДІВ в середнє значення ефективної дози опромінення населення України складає: нерегульовані (природні, космічні) – до 23%; індустриальні (регульовані) – до 1%; будівельне виробництво (регульовані) – до 61%; інші техногенні (водопостачання, мінеральні добрива й ін.) – до 15 %.

Значимість вкладу природних радіонуклідів (ПРН) у будівельних матеріалах і підстилаючих ґрунтах під будинками у величину ефективної дози опромінення пояснюється тим, що вплив даних іонізуючих джерел має систематичний характер (людина проводить у приміщеннях будинків до 80% часу), особливістю впливу – опромінення в приміщенні відбувається в геометрії  $4\pi$  (на відкритому повітрі  $2\pi$ ) і високою радіотоксичністю радіонуклідів виробництва, особливо радону-222.

НРБУ-97 встановлений принципово новий підхід до забезпечення радіаційної безпеки людини при систематичному опроміненні від техногенних джерел, спрямований на зниження дози опромінення шляхом проведення захисних заходів.

Рівень вмісту природних радіонуклідів (ПРН) у будівельних матеріалах, що є результатом діяльності людини, порівняно легко піддається керуванню, а надходження ПРН із підстилаючих ґрунтів під будинками в повітря приміщень може бути зменшене тільки шляхом проведення технічних захисних заходів.

Радіаційна безпека об'єктів будівництва як домінуючого джерела щодо вкладу в дозу опромінення населення досягається використанням захисних заходів шляхом реалізації принципів [2]:

- виправданості – користь від проведення того чи іншого захисного заходу для суспільства та особи повинна бути більша, ніж сумарні збитки (економічні, медичні, соціально-психологічні);

- неперевищення – повинні бути застосовані всі можливі захисні заходи для обмеження індивідуальних доз опромінення людини нижче, ніж рівень граничних значень детерміністичних радіаційних ефектів;

- оптимізації – обсяги проведених захисних заходів повинні вибиратися так, щоб різниця між сумарною користю для суспільства та сумарними збитками була не тільки додатною, але і максимальною.

Концепція забезпечення радіаційної безпеки населення в Україні найбільш повно використана в системі радіаційного контролю будівельного виробництва.

Система радіаційного контролю будівельного виробництва виступає як механізм керування рівнем радіаційної безпеки виробленої продукції шляхом зниження до нормативних рівнів (припустимого і регіональних контрольних) параметрів іонізуючих джерел (ефективної питомої активності ПРН  $A_{\text{еф}}$ , Бк/м<sup>2</sup>×с) і в побудованих об'єктах (потужності поглиненої дози ППД, мкГр/год, у приміщенні; еквівалентної рівноважної об'ємної активності радону в повітрі приміщення  $ЕРОА_{\text{РН}}$ , Бк/м<sup>3</sup>). При цьому контрольні рівні параметрів відображують зниження рівня впливу іонізуючих випромінювань ПРН за допомогою захисних заходів з врахуванням економічних і соціальних факторів.

Вони встановлюються на основі довгострокового систематичного радіаційного моніторингу й аналізу його результатів. Вихідні регламентовані радіаційні параметри в приміщеннях будинку (ППД<sub>прим</sub>, мкГр/год;  $ЕРОА_{\text{прим}}$ , Бк/м<sup>3</sup>), що характеризують зовнішню і внутрішню складові дози опромінення, можуть бути представлені у вигляді функцій:

$$\text{ППД}_{\text{прим}} = f(\bar{A}_{\text{еф.ок}}), \text{ЕРОА}_{\text{прим}} = f(Q_{\text{ексх.гр}}; Q_{\text{ексх.ок}}) \quad (1)$$

З аналізу формули 1 видно, що зменшити дозу опромінення в приміщеннях будинку практично можна тільки за рахунок параметрів ДІВ за допомогою захисних заходів.

Сьогодні визначені показники ефективності цілого ряду захисних заходів  $\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}}$ , мЗв/рік, які характеризують величину відверненої дози опромінення за умови їх реалізації:

$$\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}} = H_{\text{еф}} - H_{\text{еф}}^{\text{зах}} \quad (2)$$

Соціально-психологічний показник радіаційної безпеки об'єкта будівництва оцінюється величиною ризику  $R_{\text{об}}$  [2].

$$R_{\text{об}} = r \times H_{\text{еф}\Sigma}, \quad (3)$$

де  $r$  – коефіцієнт довічного ризику (скорочення тривалості повноцінного життя на 15 років, стохастичний ефект) дорівнює  $7,3 \cdot 10^{-2} \text{Зв}^{-1}$ .

$$H_{\text{еф}\Sigma} = H_{\text{еф}}^{\text{зовн}} + H_{\text{еф}}^{\text{внутр}} \quad \text{сумарна ефективна доза, Зв.}$$

Величина прийняттого радіаційного ризику для населення встановлена на рівні  $5 \cdot 10^{-5}$  [2].

Прийняття рішення для реалізації захисного заходу можливе на основі порівняння користі, яка буде отримана, і шкоди для суспільства від його проведення. Це можна зробити використовуючи загальні принципи формалізації щодо прийняття рішень [4] стосовно забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва. При цьому для реалізації принципу оптимізації НРБУ-97 потрібно максимально зменшити збитки для здоров'я населення ( $-\Delta Y$  – користь) від впливу даного ДІВ за рахунок проведення захисного заходу, реалізація якого вимагає визначених витрат ( $\Delta X$  – шкода).

Ефективність виконання захисного заходу оцінюється співвідношенням «користь-шкода»:

$$-\Delta Y \leq \Delta X \quad (4)$$

Для одержання прямих кількісних значень необхідно вимірювати вираження користі ( $-\Delta Y$ ) і шкоди ( $\Delta X$ ) в однакових одиницях. Це можливо, якщо вираження користі ( $-\Delta Y$ ) представити у виді функції ( $-\Delta Y$ ) =  $f(H_{\text{еф.кол}}, \text{Зв} \times \text{люди} \times a, \text{грн}/\text{Зв} \times \text{люди})$ , де  $a$  – грошовий еквівалент.

Вартість збитків для здоров'я людей  $-\Delta Y$  залежить, у першу чергу, від величини одержуваної колективної ефективної дози  $H_{\text{еф.кол}}$  [7] і визначається за формулою:

$$-\Delta Y = a \times H_{\text{еф.кол}} + \beta \times \sum_j N_j \times f_j(H_{\text{еф.j}}), \quad (5)$$

де  $a \times H_{\text{еф.кол}}$  – економічний еквівалент стохастичної компоненти шкоди здоров'ю;

$\beta \times \sum_j N_j \times f_j(H_{\text{еф.j}})$  – психологічний компонент шкоди здоров'ю.

З урахуванням характеру й особливостей ДІВ будівельного виробництва, які мають малу інтенсивність випромінювання, коли виникнення детермінуючих стохастичних ефектів виключено, зменшення шкоди здоров'ю  $-\Delta Y$  при проведенні  $i$ -го захисного заходу оцінюється:

$$-\Delta Y = a \times (N_{\text{еф.кол.пот}} - N_{\text{еф.кол.і}}), \quad (6)$$

де  $a$  – грошовий еквівалент, грн/чол $\times$ Зв;

$N_{\text{еф.кол.пот}}$ ,  $N_{\text{еф.кол.і}}$  – ефективна колективна доза потенційна і при реалізації  $i$  – го захисного заходу, чол $\times$ Зв.

Значення ефективної колективної дози опромінення в приміщеннях будинку  $N_{\text{еф.кол.}}$ , Зв $\times$ чол, визначається по формулі:

$$N_{\text{еф.кол}} = N_{\text{еф.}} \times N \times t_{\text{експ.}}, \quad (7)$$

де  $N$  – число людей, що опромінюються, чол.;

$t_{\text{експ.}}$  – термін експлуатації будинку, років.

Вартість проведення  $i$ -го захисного заходу  $\Delta X$ , грн, спрямованого на зменшення ефективної дози опромінення, визначається співвідношенням:

$$\Delta X = X_i - X_0, \quad (8)$$

де  $X_0$  – вартість об'єкта будівництва без проведення захисного заходу, грн;

$X_i$  – вартість об'єкта будівництва при реалізації захисних заходів, грн.

Реалізація  $i$ -го протирадіаційного захисного заходу вважається доцільною, якщо виконується співвідношення:

$$X_i - X_0 \geq \frac{a}{m} \times t_{\text{експ.}} \times (N_{\text{еф.0}} - N_{\text{еф.і}}), \quad (9)$$

де  $m$  – маса будівельного матеріалу, що припадає на одного мешканця, т/чол;

$t_{\text{експ.}}$  – термін експлуатації будинку, років.

Виконано розрахунки визначення грошових еквівалентів при реалізації групи нормативно-правових захисних заходів щодо зменшення ефективної питомої активності ПРН для основних типів будівельних матеріалів (табл. 2).

Таблиця 2. Значення грошових еквівалентів для основних будівельних матеріалів огорожувачих конструкцій будинків м. Дніпропетровська

Будівельні матеріали огорожувачих конструкцій	Зменшення $\Delta A_{\text{еф.б.в.}}$ , Бк/кг	Вартість заміни $\Delta X$ , грн/т	Ефективність заміни $\Delta N_{\text{еф.}}$ , мЗв/рік	Грошовий еквівалент $a_i$ , грн/чол $\times$ Зв
Силікатна цегла	24	2,1	0,09	$2,3 \cdot 10^4$
Легкий бетон	28	7,0	0,27	$2,6 \cdot 10^4$
Керамічна цегла	36	8,0	0,18	$4,4 \cdot 10^4$
Важкий бетон	45	4,0	0,23	$1,7 \cdot 10^4$
Шлакоблок	20	1,5	0,11	$1,3 \cdot 10^4$

Найбільш ефективним захисним заходом щодо зменшення радонопоступлення з підстилаючих ґрунтів будинків у повітря приміщень є встановлення протирадонового захисного екрана (ПЗЕ), величина грошового еквівалента якого визначається за формулою:

$$a_{i\text{гр}} \leq \frac{X_i \times S_{\text{ПЗЕ}}}{\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}} \times t_{\text{експл}} \times N_{\text{мешк}}}, \quad (10)$$

де  $X_i$  – вартість виконання та встановлення  $1 \text{ м}^2$  протирадонового захисного екрана, грн/м<sup>2</sup>;

$S_{\text{ПЗЕ}}$  – площа протирадонового захисного екрана, м<sup>2</sup>;

$\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}}$  – величина відверненої ефективної дози опромінення завдяки встановленню ПЗЕ, Зв/рік;

$t_{\text{експл}}$  – термін експлуатації будинку, протягом якого ПЗЕ повинен зберігати свої захисні властивості, рік;

$N_{\text{мешк}}$  – кількість мешканців, що проживають у будинку, чол.

Результати розрахунку величини грошового еквівалента при установці ПЗЕ для зменшення радонопоступлення з ґрунту наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Величини грошових еквівалентів щодо зменшення радононадходження з підстилаючих ґрунтів на території м. Дніпропетровська за допомогою захисних екранів

Матеріал для ПЗЕ	Коефіцієнт ослаблення $K_{\text{осл}}$	Ефективність ПЗЕ $\Delta H_{\text{эф}}^{\text{зах}}$ , мЗв/рік	Вартість виготовлення й установки $1 \text{ м}^2$ ПЗЕ, грн/м <sup>2</sup>	Грошовий еквівалент а, грн/Зв × чол
Бетон	0,8	0,8-1,6	2400-10800	$(3,1-6,8) \cdot 10^4$
Поліетиленова плівка	0,9	1,0-2,0	100-800	$(1,1-4) \cdot 10^3$

Величина грошового еквівалента „а” щодо зменшення радононадходження з будівельних матеріалів огорожуючих конструкцій приміщень, при реалізації протирадонових захисних заходів визначається за формулою:

$$a_i \leq \frac{X_i \times S}{\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}} \times t}, \quad (11)$$

де  $X_i$  – вартість витратних матеріалів, грн/м<sup>2</sup>;

$S$  – площа, яка припадає на одного мешканця та підлягає обробці даним матеріалом, м<sup>2</sup>/чол;

$\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}}$  – ефективність застосування цього захисного матеріалу, Зв/рік;

$t$  – термін експлуатації покриття, років.

Результати розрахунку грошового еквівалента щодо зменшення радононадходження з будівельних матеріалів огорожуючих конструкцій за допомогою екрана з різних матеріалів наведені в табл. 4.

Порівняльна оцінка величин грошових еквівалентів  $a_i$  та ефективності  $\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}}$  розглянутих груп захисних заходів щодо зменшення впливу іонізуючих джерел будівельного виробництва дозволяє судити про доцільність їхнього застосування.

Таблиця 4. Значення грошового еквівалента щодо зменшення радонопоступлення з будівельних матеріалів за допомогою екрана

Матеріал для ПЗЕ	$\Delta q_{\text{зксх,окс}}$ мБк/м <sup>2</sup> × с	$K_{\text{осл}}$	Ефективність захисного матеріалу $\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}}$ , мЗв/рік	Вартість витрат $X$ , грн/м <sup>2</sup>	Грошовий еквівалент $a_i$ , грн/Зв × чол
Олійна фарба	5,22	0,7	0,295	0,37	$1,7 \cdot 10^3$
Емаль	6,68	0,86	0,379	0,48	$1 \cdot 10^3$
Водоемульсійна фарба	4,91	0,69	0,278	0,26	$7,6 \cdot 10^2$
Шпалери паперові	2,75	0,35	0,156	1,06	$6,8 \cdot 10^3$
Шпалери плівкові	6,01	0,82	0,397	3,18	$5,3 \cdot 10^3$

Економіко-соціальний вигравш  $E_{3.3}$ , грн, від реалізації захисних заходів щодо забезпечення рівня радіаційної безпеки об'єкта будівництва визначається за формулою:

$$E_{3.3} = a_{\Sigma} \times \Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}\Sigma} \times t_{\text{експ}} \times N, \quad (12)$$

де  $a_{\Sigma}$  – сумарний грошовий еквівалент від реалізації захисних заходів, грн/чол × Зв, ( $a_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n a_i$ );

$\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}\Sigma}$  – сумарний показник ефективності реалізації захисних заходів, Зв/рік, ( $\Delta H_{\text{еф}}^{\text{зах}\Sigma} = \sum_{i=1}^n a_i H_{\text{еф}i}^{\text{зах}}$ );

$T_{\text{експ}}$  – термін експлуатації будинку, років;

$N$  – число мешканців у будинку, чол.

### Висновки

Результати досліджень щодо оцінювання іонізуючих джерел будівельного виробництва і захисних заходів для забезпечення радіаційної безпеки об'єктів будівництва показали доцільність, відповідно до принципів виходу навколишнього середовища з екологічної кризи, їх соціально-економічної оцінки.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Чухин С.Г. Социально-экономические критерии приемлимости радиационного риска новых радиационных технологий. М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97)-Київ: МОЗ, 1997
3. Система норм і правил зниження рівнів іонізуючих випромінювань природних радіонуклідів у будівництві. – Київ: Держкоммістобудування, 1997
3. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. – М.: Энергоатомиздат, 1990.