

### ОЦІНКА РИЗИКУ ДЛЯ ЗДОРОВ'Я НАСЕЛЕННЯ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ФЕРОСИЛІЦІЮ

**Т. Ф. Жуковський, О. Л. Проценко**

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»  
вул. Бакуліна, 6, м. Харків, 61166, Україна. E-mail: Elana\_eco88@mail.ru

За методикою Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA US) здійснено оцінку ризику для здоров'я населення від впливу викидів забруднюючих речовин при виробництві феросиліцію на ТОВ Фірма «ЕКІНА». Характеристика ризику проводилася тільки для неканцерогенних ефектів на основі розрахунку коефіцієнтів небезпеки для окремих речовин та індексів небезпеки при комбінованому впливі хімічних сполук. Розраховано ризики під час хронічного та гострого впливів до та після впровадження заходів із підвищення екологічної безпеки. Визначено органи та системи, вплив на які відбувається із перевищенням безпечних рівнів впливу та викликає захворювання. Встановлено забруднюючі речовини, які здійснюють найбільший внесок у формування захворюваності населення м. Алмазна при інгаляційному впливі.

**Ключові слова:** оцінка ризику, виробництво феросиліцію, забруднення атмосфери, здоров'я населення.

### ОЦЕНКА РИСКА ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ В АТМОСФЕРУ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ФЕРРОСИЛИЦИЯ

**Т. Ф. Жуковский, Е. Л. Проценко**

Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем»  
ул. Бакулина, 6, г. Харьков, 61166, Украина. E-mail: Elana\_eco88@mail.ru

По методике Агентства по охране окружающей среды США (EPA US) осуществлена оценка риска для здоровья населения от воздействия выбросов загрязняющих веществ при производстве ферросилиция на ООО Фирма «ЭКИНА». Характеристика риска проводилась только для неканцерогенных эффектов на основе расчета коэффициентов опасности для отдельных веществ и индексов опасности при комбинированном воздействии химических соединений. Рассчитано риски при хроническом и остром воздействии до и после внедрения мероприятий по повышению экологической безопасности. Определены органы и системы, воздействие на которые происходит с превышением безопасных уровней воздействия и вызывает заболевания. Установлено преобладающие загрязняющие вещества с наибольшим вкладом в формирование заболеваемости населения г. Алмазная при ингаляционном воздействии.

**Ключевые слова:** оценка риска, производство ферросилиция, загрязнение атмосферы, здоровье населения.

**АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ.** Чорна металургія, у тому числі й виробництво феросиліцію, по праву вважається однією з найбільш «брудних» галузей, що здійснює негативний вплив як на стан навколишнього середовища так і на здоров'я людини.

Товариство із обмеженою відповідальністю фірма «Екологічна ініціатива» (ТОВ Фірма «ЕКІНА») спеціалізується на виробництві феросиліцію методом електрошлакового переплаву. Підприємство розташовано у м. Алмазна Луганської області.

За результатами інвентаризації джерел викидів забруднюючих речовин (ЗР) в атмосферне повітря від цеху електрошлакового переплаву (цех ЕШП) виявлено перевищення нормативних показників викидів за речовинами у вигляді суспендованих твердих частинок недиференційованих за складом та оксидами вуглецю [1].

У зв'язку із цим розроблено та впроваджено комплекс технологічних і природоохоронних заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки при виробництві FeSi [2, 3].

Метою роботи є оцінка впливу виробництва феросиліцію до та після впровадження комплексу заходів із підвищення екологічної безпеки на здоров'я населення м. Алмазна із використанням методології ризику (EPA US).

**МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.** У світовій практиці склалися два основних підходи до контролю та управління якістю навколишнього природного середовища та впливу негативних факторів на здоров'я населення. Перший полягає у про-

цедурі суворого гігієнічного нормування, й є основним інструментом управління у більшості країн СНД, у тому числі і в Україні. Наряду із даним підходом, у більшості розвинених країн світу (США, країни ЄС) з цією метою широко використовуються методологія оцінки ризику [4].

Міжнародний підхід EPA US ґрунтується на дослідженні типових випадків контакту людей з носіями речовин-забруднювачів, типових фізико-хімічних механізмів – шляхах контактів людини з речовинами-забруднювачами і наборі популяційних груп з однаковими умовами експозиції.

Основними принципами даного методу є принцип пороговості для неканцерогенного впливу та безпороговий принцип для канцерогенних ефектів. Передбачається, що речовини неканцерогенного впливу викликають ризик лише за умови перевищення ними порогів чи безпечних рівнів впливу: RfC (*Inhalation Reference Concentration*) – референтна концентрація для інгаляційного шляху надходження в організм (мг/м<sup>3</sup>·день).

Референтна концентрація – добовий вплив хімічної речовини протягом усього життя, який установлюється з урахуванням усіх наукових даних і, імовірно, не призводить до виникнення неприйнятної ризику для здоров'я чутливих груп населення.

Референтні рівні розраховуються на основі таких величин:

– NOAEL (*no-observed-adverse-effect level*) максімальний рівень, при якому не спостерігається розвиток видимих шкідливих ефектів;

– LOAEL (*lowest-observed-adverse-effect level*) мінімальний рівень, при якому спостерігається шкідливий ефект (початкові порогові ефекти).

Проте згідно з дослідженнями [5, 6] не існує такої концентрації надходження забруднюючих речовин (ЗР), яку можна було б вважати безпечною для здоров'я людини.

Аналіз ризику включає два взаємозалежних елементи: оцінка ризику для здоров'я населення і керування ризиком [7].

Схема оцінки ризику передбачає проведення наступних етапів:

- ідентифікацію небезпеки;
- оцінку впливу (експозиції);
- характеристику небезпеки (оцінка залежності «доза – відповідь»);
- характеристику ризику.

*Етап ідентифікації небезпеки* передбачав виявлення всіх джерел забруднення навколишнього середовища досліджуваного підприємства;

ідентифікацію всіх забруднюючих речовин і можливого їх впливу на навколишнє середовище і людину;

виявлення пріоритетних для подальшого вивчення забруднюючих речовин.

*Оцінка експозиції* передбачала:

- визначення маршруту впливу;
- ідентифікацію середовища, у якому здійснюється перенесення забруднюючої речовини;
- визначення концентрації забруднюючої речовини;
- оцінку часу, частоти і тривалості впливу;
- ідентифікацію населення, яке підпадає під вплив.

*Оцінка залежності «доза–відгук»* передбачала процес кількісної характеристики токсикологічної інформації і встановлення зв'язку між дозою (концентрацією) забруднюючої речовини і ймовірністю погіршення стану здоров'я населення в зоні впливу підприємства.

*Характеристика ризику* проводилися тільки для неканцерогенних ефектів для окремих речовин на основі розрахунку коефіцієнта небезпеки (HQ) за формулою [8]:

$$HQ = AC / RfC, \quad (1)$$

де  $HQ$  – коефіцієнт небезпеки;  $AC$  – середня концентрація,  $mg/m^3$ ;  $RfC$  – референтна (безпечна) концентрація,  $mg/m^3$ .

Характеристика сумарного ризику розвитку неканцерогенних ефектів при комбінованому і комплексному впливі хімічних сполук проводилася на основі розрахунку індексу небезпеки (HI), який оцінювався для груп хімічних сполук, що мають однорідну шкідливу дію і/або впливають на одні й ті ж органи/системи організму [8]:

$$HI_j = HQ_1 + HQ_2 + \dots + HQ_n, \quad (2)$$

де  $HQ_i$  – коефіцієнти небезпеки для кожної забруднюючої речовини.

Зона дослідження ризиків для здоров'я населення від впливу викидів ЗР із джерел ТОВ фірми «ЕКІНА» (територія розміром 4x4 км) була розділена рецепторною сіткою на вісім однакових сегментів по 45° по румбам напрямку вітру. Кожен сегмент був розділений від центру території підприємства на сектора від 500 до 2000 м із кроком сітки 500 м (рис. 1).

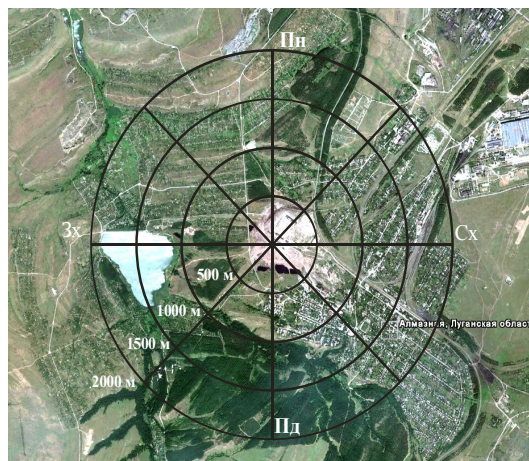


Рисунок 1 – Визначення рецепторних точок у районі розміщення цеху ЕШП ТОВ фірми «ЕКІНА»

Розрахунок концентрацій проводився в 32 вузлах заданої рецепторної сітки в  $mg/m^3$  без урахування фону за допомогою програмного комплексу "ПЛЕНЕР-1.25". Однією з причин використання методу комп'ютерного моделювання замість даних моніторингу була необхідність ідентифікувати викиди досліджуваного підприємства, що дозволило дослідити концентрації його технологічних викидів у конкретних точках впливу, а не сумарні концентрації викидів міста від усіх джерел забруднення, включаючи промислові та транспортні об'єкти.

На основі розрахованих рівнів експозиції були встановлені характеристики ризику від забруднення атмосферного повітря під час виробництва феросилицію в 32 розрахункових вузлах рецепторної сітки на відстані 500–2000 м від центру проммайdanчика, які включали розрахунки неканцерогенних ризиків у вигляді коефіцієнтів та індексів небезпеки для окремих речовин при гострому та хронічному впливах.

Результати розрахунків коефіцієнтів небезпеки (HQ) як при гострому, так і при хронічному впливах викидів забруднюючих речовин від цеху ЕШП ТОВ фірма «ЕКІНА» до впровадження повітряохоронних заходів показали перевищення безпечних рівнів ( $HQ > 1$ ) за пилом (зважені речовини) (рис. 2).

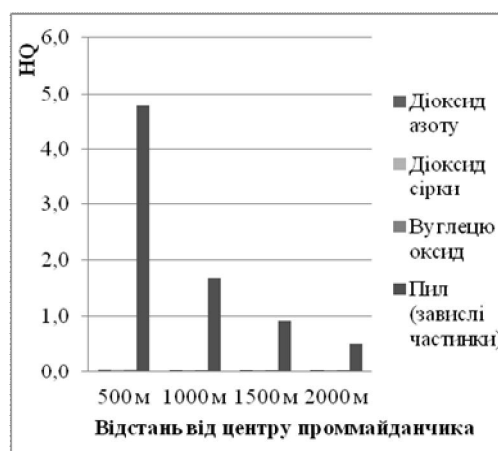
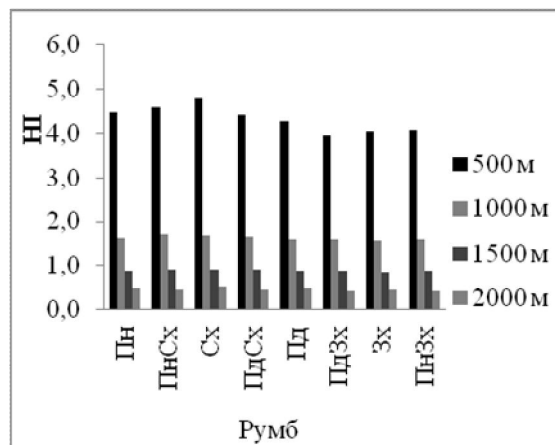


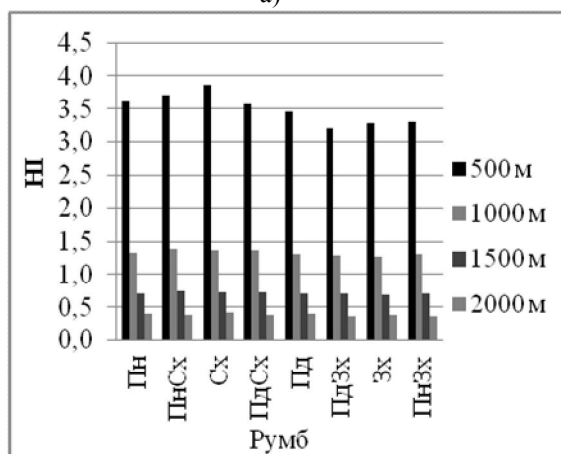
Рисунок 2 – Коефіцієнти небезпеки для здоров'я населення залежно від віддалення від центру проммайdanчика

Визначено індекси небезпеки (HI) викидів ЗР від цеху ЕШП ТОВ фірма «ЕКІНА» до впровадження

заходів. Результати приведені на рис. 3.



а)



б)

Рисунок 3 – Індекси небезпеки при гострому та хронічному впливах для здоров'я населення до впровадження заходів: а) при гострому впливі; б) при хронічному впливі

Як видно із рис. 3, максимального рівня індекси небезпеки досягали у східному напрямку, а мінімального – у південно-західному.

При гострому впливі індекси небезпеки до впровадження заходів перебували у таких межах:

- на відстані 500 м  $HI = 3,96-4,78$  – характеризується як середній;
- на відстані 1000 м  $HI = 1,57-1,7$  – характеризується як середній;
- на відстані 1500 м та 2000 м  $HI = 0,86-0,43$  – характеризується як низький.

При хронічному впливі індекси небезпеки перебували у таких межах:

- на відстані 500 м  $HI = 3,21-3,86$  – характеризується як середній;
- на відстані 1000 м  $HI = 1,28-1,39$  – характеризується як середній;
- на відстані 1500 м та 2000 м  $HI = 0,7-0,36$  – характеризується як низький;

Після впровадження комплексу заходів відбулося зниження коефіцієнту небезпеки за всіма ЗР (рис. 4).



а)



б)

Рисунок 4 – Індекси небезпеки для здоров'я населення до та після впровадження заходів: а) при гострому впливі; б) при хронічному впливі

Із віддаленням від джерел викидів зафіксовано тенденцію до зменшення індексів небезпеки. При гострому впливі індекси небезпеки на відстані 500–1500 м знаходяться в межах  $HI = 0,13-0,30$ ; при хронічному впливі  $HI = 0,10-0,24$ , що характеризується як низький вплив, за якого ризик виникнення шкідливих ефектів є зневажливо малим. На відстані 2000 м  $HI \leq 0,1$  – мінімальний ризик виникнення шкідливих ефектів відсутній.

Результати розрахунків індексів небезпеки при гострому впливі до впровадження заходів свідчать про не перевищення безпечних рівнів впливу ( $HI < 1$ ) сукупності пріоритетних забруднюючих речовин при гострому інгаляційному впливі на наступні органи/системи – серцево-судинну систему (ССС). Перевищення безпечних рівнів впливу ( $HI > 1$ ) спостерігалось на органи дихання (ОД) – у 16 розрахункових вузлах рецепторної сітки на відстані від 500 до 1000 м (рис. 5). Після впровадження заходів індекси небезпеки для здоров'я населення знизилися ( $HI = 0,003-0,3$ ) і не перевищують безпечні рівнів впливу. Результати розрахунків індексів небезпеки при хронічному впливі до впровадження заходів свідчать про не перевищення безпечних рівнів впливу ( $HI < 1$ ) сукупності пріоритетних забруднюючих речовин інгаляційному впливі на наступні органи/системи – кров і центральна нервова система (ЦНС) (рис. 6).

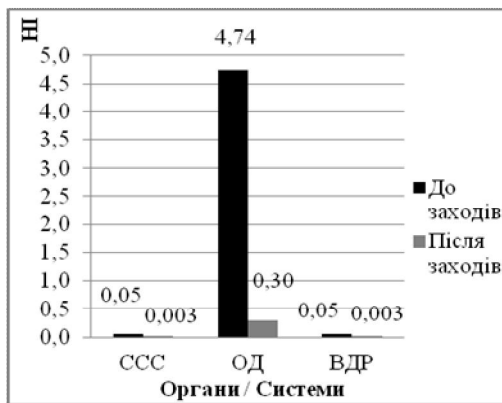


Рисунок 5 – Індекси небезпеки при гострому впливі для здоров'я населення до та після впровадження комплексу заходів

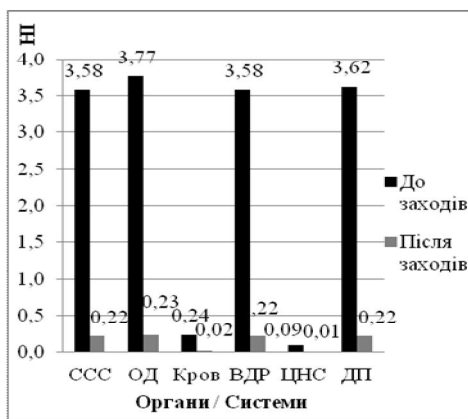


Рисунок 6 – Індекси небезпеки для здоров'я населення при хронічному впливі до та після впровадження заходів

Перевищення безпечних рівнів впливу ( $HI > 1$ ) спостерігалось на серцево-судинну систему (ССС), органи дихання (ОД), вроджені дефекти розвитку (ВДР), демографічні показники – підвищення рівня смертності (ДП) – у розрахункових вузлах рецептурної сітки на відстані від 500 до 1000 м.

Після впровадження заходів індекси небезпеки для здоров'я населення знизилися ( $HI = 0,23 - 0,003$ ) і не перевищують безпечні рівні впливу.

Найбільший внесок забруднюючі речовини при інгаляційному впливі вносять у формування захворюваності серцево-судинної системи, органів дихання, вроджених дефектів розвитку та підвищення рівня смертності, органів дихання (рис. 7).

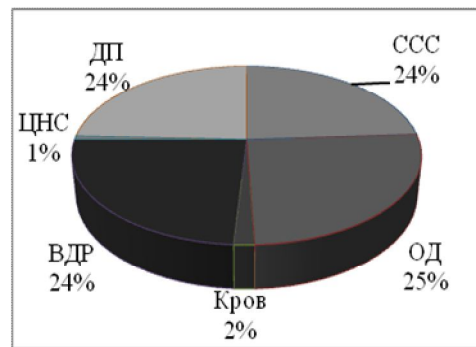


Рисунок 7 – Вплив на критичні органи і системи організму ЗР, що утворюються при виробництві феросиліцію на СВД ТОВ фірми «ЕКНА», %

Формування індексу небезпеки при впливі викидів на центральну нервову систему повністю здійснюється за рахунок вуглецю оксиду. Найбільший внесок у формування індексу небезпеки для органів дихання припадає на завислі частинки (92%), двооксид азоту та сірки (по 4%).

Найбільший внесок у формування індексу небезпеки для органів серцево-судинної системи припадає на зважені речовини (97%) і вуглецю оксид (3%), для вроджених дефектів розвитку – на зважені речовини (97%) і вуглецю оксид (3%), для захворювань крові – на двооксид азоту (61%) і вуглецю оксид (39%), демографічні показники – на зважені речовини (96%) і двооксид сірки (4%).

Після впровадження заходів індекси небезпеки для пріоритетних забруднюючих речовин при інгаляційному впливі не перевищують допустимий рівень ( $HI \leq 1$ ) і ризик для здоров'я експонованого населення – мінімальний.

Отримані показники характеристики ризику представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристика ризику

№	Показники	До впровадження заходів				Після впровадження заходів				
		Двооксид азоту	Сірки двооксид	Вуглецю оксид	Зважені речовини	Двооксид азоту	Сірки двооксид	Вуглецю оксид	Зважені речовини	
1.	Речовини									
2.	Коефіцієнт небезпеки (HQ) при гострому впливі	– max	0,050	0,042	0,048	4,643	0,005	0,0005	0,003	0,289
		– min	0,007	0,006	0,006	0,413	0,001	0,0001	0,001	0,078
3.	Коефіцієнт небезпеки (HQ) при хронічному впливі	– max	0,147	0,139	0,092	3,482	0,015	0,0017	0,007	0,217
		– min	0,019	0,018	0,007	0,310	0,003	0,0004	0,001	0,058

4.	Індекс небезпеки (НІ) при гострому впливі – max – min	4,78 (середній) 0,43 (низький)	0,30 (низький) 0,08 (мінімальний)
5.	Індекс небезпеки (НІ) при хронічному впливі – max – min	3,86 (середній) 0,36 (низький)	0,24 (низький) 0,06 (мінімальний)
Наявність імовірності виникнення захворювань при комплексному впливі:			
6.	Серцево-судинна система: – гострий вплив – хронічний вплив	– +	– –
7.	Органи дихання: – гострий вплив – хронічний вплив	+ +	– –
8.	Кров: – гострий вплив – хронічний вплив	– –	– –
9.	Вроджені дефекти розвитку: – гострий вплив – хронічний вплив	– +	– –
10.	Центральна нервова система: – гострий вплив – хронічний вплив	– –	– –
11.	Підвищення рівня смертності: – гострий вплив – хронічний вплив	– +	– –

Перелічені вище результати оцінки ризику для здоров'я населення не можна вважати абсолютно точними, зважаючи на невизначеності, які були присутні при виконанні аналізу. До них необхідно віднести неточності в інвентаризації викидів, похибки моделювання, різні допущення, невизначеність у встановленні референтних рівнів.

**ВИСНОВКИ.** Виконано оцінку ризику для здоров'я населення від впливу викидів забруднюючих речовин від цеху ЕШП ТОВ фірма «ЕКІНА». Розрахунки проводили за методикою Агентства з охорони навколишнього середовища США (EPA US).

Встановлено, що значення індексів небезпеки до впровадження заходів, спрямованих на підвищення екологічної безпеки, характеризувалися як середні та низькі, у результаті чого існував ризик прояву захворювань: при гострому впливі – органів дихання; при хронічному впливі – органів дихання, серцево-судинної системи, вроджених дефектів розвитку у особливо чутливих підгруп населення (людей похилого віку, вагітних і дітей), а також підвищення рівня смертності.

Встановлено, що завислі частинки (пил) здійснюють найбільший внесок у формування захворюваності населення м. Алмазна при інгаляційному впливі.

Після впровадження заходів зі скорочення викидів ЗР в атмосферне повітря індекси небезпеки для здоров'я населення знизилися у 5–16 разів, рівень небезпеки характеризується як низький та мінімальний – ризик виникнення шкідливих ефектів є мізерно малим.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Дослідження пилогазових викидів у атмосферне повітря при виплавці феросиліцію в печах постійного струму / Т.Ф. Жуковський, О.Л. Проценко // Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: матеріали VII Всеукр. наук.-практ. конф., 15 грудня 2011 р., Запоріжжя: збір. статей. – Запоріжжя: ЗДІА, 2011. – С. 3–6.
2. Екологічна оцінка та заходи зі зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря на СВД ТОВ Фірма „ЕКІНА” / Т.Ф. Жуковський, О.Л. Проценко, С.Л. Борисенко // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: VIII Міжнар. наук.-практ. конф., 10–14 вересня 2012 р., Алушта: збір. наук. статей. – Х., 2012. – Т. 2 – С. 172–176.
3. Брикетування відходів виробництва феросиліцію / Т.Ф. Жуковський, О.Л. Проценко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 1 (61). – С. 4–8.
4. Використання оцінки ризику для здоров'я населення в пілотному проекті Американської агенції з охорони довкілля щодо впровадження методології оцінки ризику в Україні / А.М. Сердюк, О.І. Турос, А.А. Петросян та ін. // Гігієна населених місць: збір. наук. праць. – К., 2006. – Вип. 48. – С. 39–43.
5. Козловська Т.Ф. Шляхи визначення рівнів медико-хімічного ризику та впливу шкідливих речовин на організм людини // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – № 2 (37). – С. 104–109.
6. Козловська Т.Ф. Шляхи визначення ризику виникнення професійних захворювань на підприєм-

ствах важкої промисловості // Екологічна безпека. – 2009. – № 4 (8). – С. 37–42.

7. Оценка и управление рисками влияния окружающей среды на здоровье населения / А.М. Большаков, В.Н. Крутько, Е.В. Пуцилло. – М: Эдиториал УРСС, 1999. – 255 с.

8. Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев. – Одеса: Астропринт, 2011. – 368 с.

8. Методологія оцінювання екологічних ризиків / Г.В. Лисиченко, Г.А. Хміль, С.В. Барбашев. – Одеса: Астропринт, 2011. – 368 с.

## HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC EMISSIONS IN THE PRODUCTION OF FERROSILICIUM

**T. Zhukovsky, O. Protsenko**

Research Institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems"

vul. Bakulina, 6, Kharkov, 61166, Ukraine. E-mail: Elana\_eco88@mail.ru

Following the procedure of the Environmental Protection Agency (EPA US), it was carried out a human health risk assessment of the pollutant emissions in the production of ferrosilicium by "Ekina", Ltd. Risk profiling was performed only for non-carcinogenic effects and was based on the calculation of hazard ratios for individual substances and hazard indices for the combined effect of chemical compounds. It was calculated the risks if chronic and acute effects before and after the introduction of measures for environmental safety improvement. It was defined the organs and systems, the impact on which occurs exceeding safe exposure limits and causes disease. It was determined the pollutants which have the greatest contribution to the human morbidity of the population of Almaznaya in the case of inhalation exposure.

**Key words:** risk assessment, ferrosilicium production, air pollution, human health.

### REFERENCES

1. Zhukovsky, T.F., Protsenko, O.L. (2011), "Study of dust and gas air emissions during ferrosilicium smelting in DC furnaces", *Environmental protection of industrial regions as a condition of continued development of Ukraine, Materials of the VII All-Ukrainian. Sci Conf.*, Dec. 15, 2011, Zaporizhzhya, ZNIA, pp. 3–6.

2. Zhukovsky, T.F., Protsenko, O.L., Borysenko, S.L. (2012), "Environmental assessment and measures to reduce emissions of air pollutants for "Ekina", Ltd.", *Environmental Safety: Problems and Solutions, VIII Int. Sci. Conf.*, 10-14 September, 2012, Alushta, vol. 2, pp. 172–176.

3. Zhukovsky, T.F. Protsenko, O.L. (2013), "Briquetting of waste production of ferrosilicium", *East European Journal of Advanced Technology*, no. 1(61), pp. 4–8.

4. Serdyuk, A.M., Turos, O.I., Petrosyan, A.A. *et al.* (2006), "The use of risk assessment for human health in a pilot project of the American Environmental Protection Agency to implement risk assessment methodology in Ukraine", *Hyhiena naseleennykh mistc*, vol. 48, pp. 39–43.

5. Kozlovska, T.F. (2006), "Ways to determine the level of medical and chemical risks and impact of pollutants on the human body", *Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University*, № 2 (37), pp. 104–109.

6. Kozlovska, T.F. (2009), "Ways of determining the risk of occupational diseases in heavy industry companies", *Environmental safety*, no. 4 (8), pp. 37–42.

7. Bolshakov, A.M., Krutko, V.N., Putsillo, E.V. (1999), *Otsenka i upravlenie riskami vliyaniya okruzhayushchei sredy na zdorovye naseleniya* [Risk assessment and management of environmental influence on human health], Editorial USSR, Moscow, Russia.

8. Lysychenko, G.V., Hmil, G.A., Barbashev, S.V. (2011), *Metodologiya otsinuvannia ekologichnykh ryzykiv* [Methodology for environmental risk assessment], Astroprint, Odessa, Ukraine.

Стаття надійшла 24.05.2014.