

УДК 331.45.621.7

ЦИТОТОКСИЧНІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ, ЩО УТВОРЮЮТЬСЯ ПІД ЧАС ЗВАРЮВАННЯ ПОКРИТИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Левченко О. Г.¹, Демецька О. В.², Лук'яненко А. О.³

¹Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

²Державна установа «Інститут медицини праці Національної академії медичних наук України», м. Київ

³Інститут електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, м. Київ

Вступ. Створення нових марок зварювальних матеріалів з поліпшеними гігієнічними характеристиками повинно супроводжуватись як гігієнічними, так і токсикологічними дослідженнями.

Мета дослідження – визначити можливість застосування методики експрес-оцінки токсичності зварювальних аерозолів (ЗА) для отримання інформації щодо цитотоксичності зварювальних матеріалів.

Матеріали та методи дослідження. Досліджено 9 серійних марок покритих електродів різного призначення для зварювання високолегованих, вуглецевих та низьколегованих сталей. Оцінку токсичності здійснювали на підставі експериментально визначеного індексу токсичності (It) за методикою експрес-оцінки токсичності ЗА на аналізаторі АТ-05 (Росія) та розрахункових гігієнічних показників згідно з ДСТУ ISO 15011-4:2008 (граничного значення та класу ЗА).

Результати. Індекс токсичності всіх зразків ЗА, отриманих при застосуванні електродів для зварювання високолегованих сталей, значно нижчий, ніж електродів для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей. Токсичність ЗА підвищується при застосуванні зварювальних електродів, у складі яких збільшується концентрація канцерогенного шестивалентного хрому та нікелю, про що свідчить зниження величини індексу цитотоксичності та граничного значення ЗА.

Висновки. Показник «індекс токсичності» має зв'язок зі стандартизованими розрахунковими показниками (граничним значенням ЗА) відповідно до міжнародного методичного стандарту ДСТУ ISO 15011-4:2008, що підтверджує можливість його застосування як скринінгового методу в практиці санітарно-гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів.

Ключові слова: зварювальні аерозолі, індекс токсичності, покриті електроди

Вступ

Електродугове зварювання характеризується виділенням у повітря робочої зони шкідливих для організму людини аерозолів, токсична дія яких визначається хімічним складом зварювальних матеріалів (покритих електродів, флюсів, дротів). Тому створення нових марок зварювальних матеріалів обов'язково має супроводжуватись їхньою первинною санітарно-гігієнічною оцінкою відповідно до міжнародних стандартів ДСТУ ISO 15011-1:2008 [1] та ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2]. Ці стандарти дозволяють отримати необхідну інформацію щодо хімічного складу зварювальних аерозолів (ЗА) та розрахувати потенційний ризик для зварника. Що стосується створення нових зварювальних матеріалів з поліпшеними гігієнічними характеристиками, то варто мати не тільки дані первинної санітарно-гігієнічної оцінки, а й результати біологічних досліджень токсичності ЗА. Такі дослідження, особливо з використанням дослідних тварин, реалізуються протягом доволі тривалого часу й потребують значних витрат.

Для оцінювання токсичної дії малорозчинних промислових аерозолів, у тому числі й зварювальних, найбільше значення має така їхня ключова властивість, як цитотоксичність, що визначає небезпеку виникнення професійно обумовленої патології органів дихання [3]. Цитотоксичність як властивість частинок пилу (аерозолу) є визначальним фактором для оцінки ступеня його дії на організм людини та математичного прогнозування порівняльної небезпеки розвитку пневмоконіозів. Цитотоксичність визначає кінетику накопичення й затримки пилу в легенях і лімфовузлах людини, а також інтенсивність шкідливої дії на тканину цих органів. Цю характеристику оцінюють у різних короткочасних тестах, що пов'язано з пануючими уявленнями про ключову роль пошкодження пилевими частинками макрофагів у патогенезі силікозу та інших видів пневмоконіозу. Використовуються також тести, засновані на реєстрації феноменів активації макрофагів або на тому чи іншому поєднанні цих явищ. Проте трактування результатів

тестування та їх використання для прогнозування дії аерозолів на організм часто проводяться без урахування ролі процесів активації й пошкодження макрофага як в механізмах, що лежать в основі тесту, так і в патогенезі пневмоконіозу [3].

Використання так званих альтернативних токсикологічних моделей (культур клітин, експрес-тестів та ін.) дозволяє одержувати інформацію щодо токсичності та небезпеки хімічних сполук і матеріалів менш затратними способами чи підходами, у коротші строки та більш гуманно з позицій біоетики порівняно з традиційними методами експериментальних досліджень на лабораторних тваринах. У свою чергу, інформація, отримана в експериментах *in vitro*, може бути використана для скринінгу зварювальних матеріалів як «вектор» щодо проведення поглиблених експериментальних досліджень *in vivo*. Зокрема, експрес-оцінка токсичності ЗА з використанням як тест-об'єкта короткочасної суспензійної культури сперматозоїдів бика різко знижує трудомісткість і вартість випробувань. Метод дозволяє оцінити сумарний ефект від впливу на культуру всієї сукупності токсикантів, присутніх у ЗА, за біологічною дією її екстракту на тест-об'єкт за час, що не перевищує 3 год [4].

Мета дослідження – визначення можливостей застосування методики експрес-оцінки токсичності ЗА для отримання інформації щодо цитотоксичності зварювальних матеріалів.

Матеріали та методи дослідження

Відбирання проб ЗА для їхнього розчинення здійснюється відповідно до стандарту [1] методом повного уловлювання аерозолі, що утворюється під час зварювання за допомогою спеціального стенда з фільтром ФПП, встановленого на шляху руху ЗА з укриття зони зварювання. Оцінку токсичності здійснювали на підставі експериментально визначеного індексу токсичності (I_t) за методикою експрес-оцінки токсичності ЗА *in vitro* на серійно виготовленому аналізаторі АТ-05 (Росія) та (для порівняння) розрахункових гігієнічних показників – граничного значення та класу ЗА згідно з ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2]. Для цього визначали рівень (інтенсивність – V_a , мг/с) виділення та хімічний склад ЗА відповідно методикам [1, 5].

Для відбирання проб ЗА використовували відомі серійні марки покритих електродів різного призначення (табл. 1).

Таблиця 1

Зразки зварювальних аерозолів, відібрані при зварюванні серійними марками покритих електродів

№ проби	Марка електродів	Вид покриття
<i>Для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей</i>		
1	АНО-36 «Monolith»	Рутил-целюлозне
2	АНО-13	Рутилове
3	УОНИ-13/55	Основне
4	МР-3	Рутил-карбонатне
<i>Для зварювання високолегованих сталей</i>		
5	АНВ-66	Основне
6	ОЗЛ-6	Основне
7	ОЗЛ-8	Основне
8	ЦЛ-11	Основне
9	ЭА-400/10у	Основне

Результати дослідження та їх обговорення

Для визначення цитотоксичності зразків ЗА відпрацьовано методику, яка включає відбирання проб ЗА під час зварювання за допомогою спеціального лабораторного стенда з подальшим екстрагуванням в дистильованій воді та визначенням індексу токсичності (I_t), що дорівнює відношенню параметрів рухливості суспензії індикаторних клітин у дослідному зразку до параметрів рухливості індикаторних клітин у контрольному зразку. При значеннях I_t у діапазоні 70–120 % дослідний розчин вважається нетоксичним.

Дослідження показали, що серед 9 досліджуваних зразків ЗА стійку токсичну дію було виявлено в 6 зразках (МР-3, АНВ-66, ОЗЛ-6, ОЗЛ-8, ЦЛ-11, ЭА-400/10у). Зразки ЗА, відібрані при зварюванні електродами АНО-36 «Monolith» ($I_t = 120,7\%$) потрапляють у так звану «сіру зону» (табл. 2). Результати дослідження, наведені в таблиці 2, однозначно свідчать про те, що індекс токсичності всіх зразків ЗА, отриманих при застосуванні електродів для зварювання високолегованих сталей (табл. 1), значно нижчий, ніж електродів для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей. Тобто, токсичність електродів для зварювання високолегованих сталей значно вища, ніж – вуглецевих та низьколегованих. Це пояснюється наявністю в даних зразках ЗА сполук надзвичайно небезпечних канцерогенних речовин – шестива-

Таблиця 2

Цитотоксичність досліджуваних електродів (I_t)

№	Марка електродів	Значення I_t , %
1	АНО-36 «Monolith»	120,7
2	АНО-13	118,2
3	УОНИ-13/55	109,9
4	МР-3	128,1
5	АНВ-66	49,0
6	ОЗЛ-6	46,9
7	ОЗЛ-8	51,0
8	ЦЛ-11	33,3
9	ЭА-400/10у	42,7

лентного хрому та нікелю [6]. При цьому індекс цитотоксичності ЗА високолегованих електродів зменшується в наступному порядку: ОЗЛ-8, АНВ-66, ОЗЛ-6, ЭА-400/10у, ЦЛ-11, що насправді свідчить про зростання їхньої токсичності. З апроксимованої графічної залежності (рис. 1) індексу цитотоксичності ЗА від вмісту в них (залежно від марки електродів) шестивалентного хрому видно, як цитотоксичність знижується зі збільшенням у складі ЗА шестивалентного хрому.

Аналіз результатів дослідження всіх гігієнічних показників ЗА (табл. 3), зокрема, граничне значення i -го провідного компонента ЗА (LVWF(SC1)) та сумарного граничного значення ЗА (LVWF(A), мг/м³) [2], також показує, що токсичність ЗА переважно підвищується зі збільшенням у їхньому складі шестивалентного хрому (рис. 2). Разом з тим, просліджується аналогічний зв'язок індексу цитотоксичності з зазначеними розрахунковими показниками [2]. Тобто, можна стверджувати, що токсичність ЗА практично збільшується як зі зменшенням I_t , так і зі зниженням показників

граничного значення ЗА LV WF(SC1) (рис. 3) та LVWF(A) (рис. 4).

Причому ця залежність більш чітка за показником LVWF(A), який розраховується, враховуючи наявність усіх компонентів ЗА, тоді як LV WF(SC1) розраховується тільки за головним компонентом ЗА (по шестивалентному хрому). І це зрозуміло, оскільки токсичність ЗА визначається не тільки вмістом у складі електродів і відповідно в ЗА, при зварюванні якими вони утворюються, хрому, а й інших сполук (нікелю, марганцю, фтору тощо).

Що стосується такого показника, як клас електродів, що узагальнює міру ризику шкідливого впливу ЗА на організм зварника (табл. 4), даним дослідженням встановлено, що всі ЗА, відібрані під час зварювання високолегованими електродами, відносяться до найтоксичнішого класу з граничним значенням (менше ніж 0,5 мг/м³ – клас «0»), який за рівнем виділень ЗА змінювався від 4,33 до 9,17 мг/с, тобто, у межах класів b і c (клас зварювального матеріалу позначають від 0 (найнебезпечніший) до 5 (найменш небезпечний; межі рівнів виділень позначають буквами А, В, С, D, Е, де Е – максимальний рівень). Таким чином, електроди марок ОЗЛ-8 і АНВ-66 відносяться до класу «0с», а ОЗЛ-6, ЭА-400/10у та ЦЛ-11 – до «0b». Як видно з таблиці 4, за величиною шкідливої дії ЗА на організм зварника електроди ОЗЛ-8 і АНВ-66 дещо поступаються електродам ОЗЛ-6, ЭА-400/10у та ЦЛ-11.

Таким чином, враховуючи той факт, що стандартизовані показники ДСТУ ISO 15011-4:2008 не враховують комплексний вплив компонентів ЗА на його токсичність і для застосування яких необхідно виконувати дорогий та трудомісткий хімічний аналіз ЗА, а також проводити складні розрахунки, варто використовувати методику експрес-оцінки цитотоксичності ЗА.

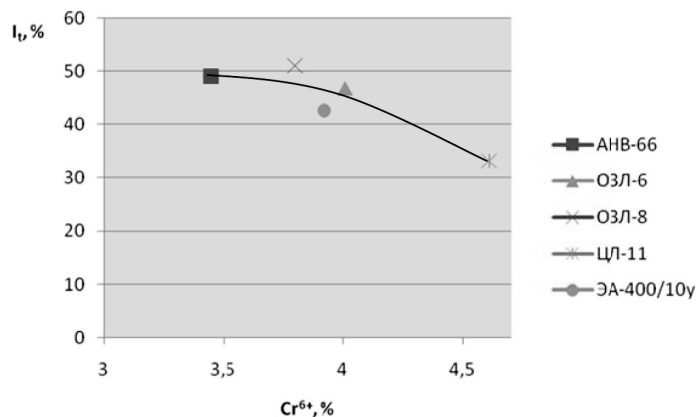


Рис. 1. Залежність індексу цитотоксичності зварювальних аерозолів I_t від вмісту в них шестивалентного хрому Cr^{6+} (залежно від марки електродів)

Таблиця 3

Гігієнічна характеристика зварювальних аерозолів, що утворюються при застосуванні електродів для зварювання високолегованих сталей

Марка електродів	Масова частка основних компонентів ЗА, %						Гігієнічні показники ЗА				
	Cr ³⁺	Cr ⁶⁺	Ni	Mn	F _p	F _H	V _a , мг/с	LV _{WF(SC1)} , мг/м ³	LV _{WF(A)} , мг/м ³	Клас електродів	It, %
ОЗЛ-8	3,80	4,25	0,49	3,30	4,94	5,70	9,17	0,26	0,184	0с	51,0
АНВ-66	3,45	4,52	0,50	4,16	6,96	3,41	8,50	0,30	0,193	0с	49,0
ОЗЛ-6	4,01	4,30	0,90	2,36	5,57	4,50	6,62	0,25	0,176	0b	46,9
ЭА-400/10у	3,92	2,40	1,44	4,14	4,41	5,59	5,67	0,26	0,174	0b	42,7
ЦЛ-11	4,61	2,49	2,44	2,93	4,77	4,87	4,33	0,22	0,152	0b	33,3

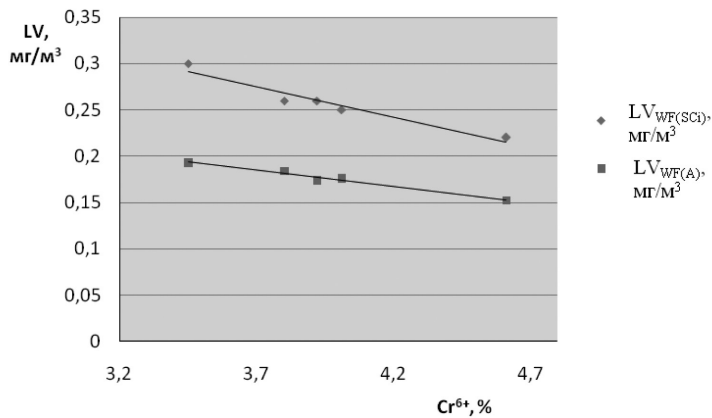


Рис. 2. Залежність показників граничного значення зварювальних аерозолів $LV_{WF(SC1)}$ та $LV_{WF(A)}$ від вмісту в них шестивалентного хрому Cr^{6+}

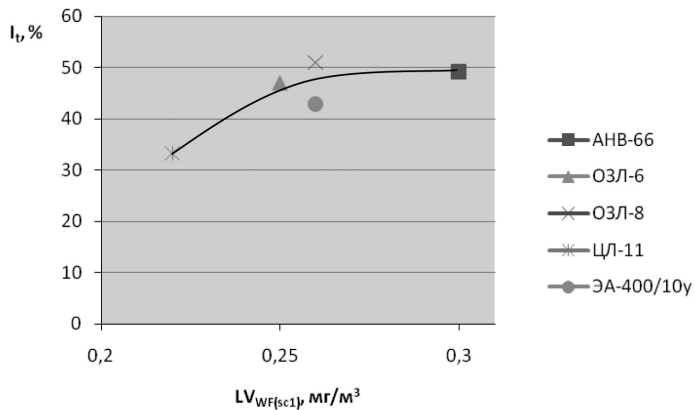


Рис. 3. Залежність індексу цитотоксичності I_1 від граничного значення зварювальних аерозолів $LV_{WF(SC1)}$ за головним компонентом

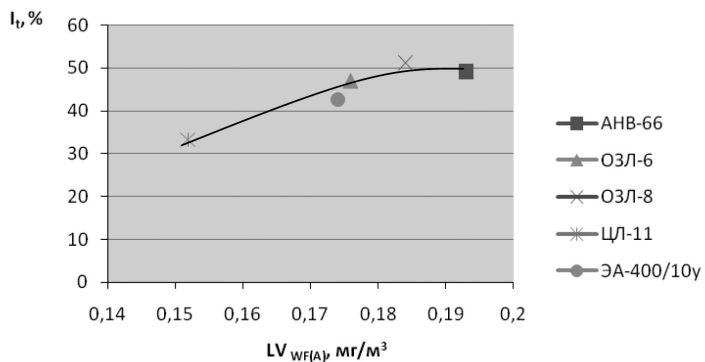


Рис. 4. Залежність індексу цитотоксичності I_1 від граничного значення зварювальних аерозолів $LV_{WF(A)}$ з урахуванням усіх їхніх компонентів

Таблиця 4

Класифікація зварювальних матеріалів залежно від рівня виділень і розрахункового граничного значення зварювальних аерозолів (ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2])

Граничне значення зварювальних аерозолів, мг/м ³	Рівень виділень зварювальних аерозолів, мг/с	< 3	Від 3 до 8	Від 8 до 15	Від 15 до 25	> 25
	Клас зварювального матеріалу	A	B	C	D	E
< 4,5	5	5a	5b	5c	5d	5e
Від 3,5 до 4,5	4	4a	4b	4c	4d	4e
Від 2,5 до 3,5	3	3a	3b	3c	3d	3e
Від 1,5 до 2,5	2	2a	2b	2c	2d	2e
Від 0,5 до 1,5	1	1a	1b	1c	1d	1e
> 0,5	0	0a	0b	0c	0d	0e

Висновки

1. Встановлено, що показник «індекс токсичності» має однозначний зв'язок зі стандартизованими розрахунковими показниками (граничним значенням ЗА) відповідно до міжнародного методичного стандарту ДСТУ ISO 15011-4:2008 [2], що підтверджує можливість його застосування як скринінгового методу в практиці санітарно-гігієнічної оцінки зварювальних матеріалів.

Література

1. ДСТУ ISO 15011-1:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів, утворених під час дугового зварювання. Частина 1. Визначення рівня виділень і відбір проб для аналізу мікрочастинок аерозолів. – [Чинний від 2008-08-15]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2011. – 8 с.
2. ДСТУ ISO 15011-4:2008. Охорона здоров'я та безпека у зварюванні та споріднених процесах. Лабораторний метод відбирання аерозолів і газів. Частина 4. Форма для запису даних про аерозолі. – [Чинний від 2008-08-15]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2011. – 20 с.

2. Підтверджено, що токсичність електродів для зварювання високолегованих сталей значно вища, ніж для зварювання вуглецевих та низьколегованих сталей.
3. Встановлено, що токсичність ЗА підвищується при застосуванні зварювальних електродів, у складі яких збільшується концентрація канцерогенного шестивалентного хрому і нікелю, про що свідчить зниження величини індексу цитотоксичності та граничного значення ЗА.

3. Токсикологія аерозолів / [Кундієв Ю. І., Корда М. М., Кашуба М. О., Демецька О. В.]. – Тернопіль : ТДМУ «Укрмедкнига», 2015. – 256 с.

4. Экспресс-оценка токсичности отходов производства и потребления на культуре клеток млекопитающих. – Москва : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2008. – 12 с.

5. Методические указания по определению вредных веществ в сварочном аэрозоле (твердая фаза и газы) № 4945-88. – Москва : Минздрав СССР, 1990. – 150 с.

6. Левченко О. Г. Сварочные аэрозоли и газы: процессы образования, методы нейтрализации и средства защиты / О. Г. Левченко. – Киев : Наукова думка, 2015. – 248 с.

Левченко О. Г.¹, Демешкая А. В.², Лукьяненко А. О.³

ЦИТОТОКСИЧНОСТЬ СВАРОЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ СВАРКЕ ПОКРЫТЫМИ ЭЛЕКТРОДАМИ

¹Национальный технический университет Украины «КПИ», г. Киев

²Государственное учреждение «Институт медицины труда Национальной академии медицинских наук Украины», г. Киев

³Институт электросварки имени Е. О. Патона Национальной академии наук Украины, г. Киев

Вступлення. Создание новых марок сварочных материалов с улучшенными гигиеническими характеристиками должно сопровождаться как гигиеническими, так и токсикологическими исследованиями.

Цель исследования – определить возможности применения методики экспресс-оценки токсичности сварочных аэрозолей (СА) для получения информации о цитотоксичности сварочных материалов.

Матеріали і методи дослідження. Исследовано 9 серийних марок покритих електродів різного призначення для зварки високолегірованих, углеродистих і низколегірованих сталей. Оценку токсичності проводили на основі експериментально визначеного індексу токсичності (It) по методикі експрес-оценки токсичності СА на аналізаторі АТ-05 (Росія) і розрахункових гігієнічних показувачів згідно ДСТУ ISO 15011-4: 2008 (пределного значення і класу СА). Індекс токсичності всіх образців СА, отриманих при використанні електродів для зварки високолегірованих сталей, значно нижче, ніж електродів для зварки углеродистих і низколегірованих сталей. Токсичність СА підвищується при використанні зварочних електродів, в складі яких збільшується концентрація канцерогенного шестивалентного хрому і нікелю, о чому свідчить зниження величини індексу цитотоксичності і пределного значення СА.

Висновки. Показувач «індекс токсичності» має зв'язок зі стандартизованими розрахунковими показувачами (пределним значенням СА) в відповідності з міжнародним методическим стандартом ДСТУ ISO 15011-4: 2008, що підтверджує можливість його застосування як скринингового методу в практиці санітарно-гігієнічної оцінки зварочних матеріалів.

Ключевые слова: зварочні аерозолі, індекс токсичності, покриті електроди

Levchenko O. G.¹, Demetska O. V.², Lukyanenko A. O.³

CYTOTOXICITY OF WELDING FUMES GENERATED IN WELDING WITH COVERED ELECTRODES

¹National Technical University of Ukraine «KPI», Kyiv

²State Institution «Institute for Occupational Health of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv

³The E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kyiv

Introduction. Development of new brands of welding materials with improved hygienic characteristics should be accompanied by hygienic and toxicological assessment.

The aim of the study was to determine possibilities of using an express-method for assessment of toxicity of welding aerosols (WA) in order to receive information on cytotoxicity of welding materials.

Materials and methods. 9 serial researched brands, covered with electrodes of different destination for welding high, carbon and low alloy steels have been investigated. The evaluation of toxicity was conducted according to experimentally defined index of toxicity (It) by the express-method for WA on the analyzer AT-05 (Russia) and calculated hygienic indices, according to ISO 15011-4: 2008 (the limit value and class of WA).

Results. Toxicity index all of all samples of EA, obtained when using electrodes for welding of high-alloy steels was significantly lower than for welding of carbon and low alloy steels. The increased toxicity was revealed for welding electrodes with high concentrations of carcinogenic substances – hexavalent chromium and nickel, as evidenced in the decrease of the value of the index cytotoxicity and limit WA values.

Conclusions. The «toxicity index» is in the relation with standardized calculation parameters (limit values of WA) in accordance with international methodological standards ISO 15011-4: 2008, thus confirming the possibility of its use as a screening method in practice of the sanitary-hygienic assessment of welding materials.

Key words: welding fumes, index of toxicity, covered electrodes

References

1. ISO 15011-1: 2008. 2011, Health protection and safety in welding and related processes. A laboratory method for sampling aerosols and gases, generated in arc welding. Part 1. Determination of emission levels and sampling for analysis of aerosol microparticles. [Effective as of 15.08.2008]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 8 p. (in Ukrainian).

2. ISO 15011-4: 2008. 2011, Health protection and safety in welding and related processes. A laboratory method for sampling aerosols and gases. Part 4. A form for recording aerosols. [Effective as of 15.08.2008]. Kyiv : Derzhspozhyvstandart of Ukraine, 20 p. (in Ukrainian).

3. Kundiyev, Y. I., Korda, M. M., Kashuba, M. O., Demetska, O. V. 2015, Toxicology aerosols, Ternopil: Ternopil State Medical University "Ukrmedknyha", 256 p. (in Ukrainian).

4. Express assessment of the toxicity of waste products on mammalian cell cultures. 2008, Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology, 12 p. (in Russian).

5. Methodical instructions on definition of hazardous substances in welding fumes (solids and gases), 1990, Moscow: Ministry of Health of the USSR, № 4945-88, 150 p. (in Russian).

6. Levchenko, O. G. 2015, Welding fumes and gases: processes of generation, methods of neutralization and protective equipment, Kiev : Naukova Dumka, 248 p. (in Russian).

Надійшла: 4 квітня 2016 р.

Контактна особа: Демецька Олександра Віталіївна, кандидат біологічних наук, ДУ «Інститут медицини праці НАМН України», буд. 75, вул. Саксаганського, м. Київ, 01033. Тел.: + 38 0 44 289 43 66. Електронна пошта: dalexandra@ukr.net