

О. Г. Левченко, д-р техн. наук (НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»),  
І. Р. Явдошин, канд. техн. наук, С. М. Степанюк, канд. техн. наук  
(Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФТОРИДІВ ТА СПОЛУК ЛУЖНИХ МЕТАЛІВ У ЕЛЕКТРОДНОМУ ПОКРИТТІ ОСНОВНОГО ВИДУ НА РОЗЧИННІСТЬ ЗВАРЮВАЛЬНИХ АЕРОЗОЛІВ**

*Наведено результати досліджень розчинності зварювальних аерозолів в біологічних середовищах як показника їх токсичності, яким можна користуватись при розробленні нових марок з поліпшеними гігієнічними характеристиками. Показано, що існує можливість знижувати токсичність зварювальних аерозолів, оскільки їх розчинність може змінюватись в широких межах в залежності від складу електродного покриття, при зварюванні якими ці аерозолів утворюються. Зі збільшенням вмісту фтористого кальцію та сполук лужних металів у складі зварювальних аерозолів ЗА, особливо сполук калію, розчинність зварювальних аерозолів зростає як у воді, так і в імітаторі шлункового соку, що свідчить про їх підвищену активність в біологічному середовищі.*

**Ключові слова:** зварювальні аерозолі, зварювальні електроди, токсичність, біологічне середовище.

*Приведены результаты исследований растворимости сварочных аэрозолей в биологических средах как показателя их токсичности, которым можно пользоваться при разработке новых марок сварочных электродов с улучшенными гигиеническими характеристиками. Показано, что существует возможность снижать токсичность СА, поскольку их растворимость может изменяться в широких пределах в зависимости от состава электродного покрытия, при сварке которыми эти аэрозоли образуются. С увеличением содержания фтористого кальция и соединений щелочных металлов в составе сварочных аэрозолей, особенно соединений калия, растворимость сварочных аэрозолей растет как в воде, так и в имитаторе желудочного сока, что свидетельствует об их повышенной активности в биологической среде.*

**Ключевые слова:** сварочные аэрозоли, сварочные электроды, токсичность, биологическая среда.

*The result of research of welding aerosols (WA) solubility in biological environments as their toxicity equivalent, which can be used in development of electrode grades with higher hygienic characteristics. It was shown that there is a possibility to decrease the toxicity of WA since their solubility can change in*

*wide range depending on the composition of electrode coating which produces these WA in a process of welding. The bigger amount of calcium fluoride and alkali metal compounds in the composition of WA is, especially potassium compounds, the higher solubility either in water or in gastric juice imitator is. It is evidence of their increased activity in a biological environment.*

**Keywords:** *welding aerosols, welding electrodes, toxicity, biological environment.*

Чим вищою є розчинність речовини, тим більші у неї можливості вступати у хімічну реакцію, а отже викликати ті чи інші зміни в організмі [1]. Це повною мірою стосується і аерозолів, що утворюються під час електродугового зварювання. Розчинність хімічних сполук, присутніх у зварювальних аерозолях (далі – ЗА), може суттєво характеризувати їх токсичну дію на організм людини. Розчинні сполуки калію визначають біологічний вплив ЗА на організм людини, а їх цитотоксичний ефект визначається переважно дією розчинних сполук фтору та марганцю [2]. Для отримання інформації про біологічний і токсичний вплив на організм людини хімічних сполук, що входять до складу ЗА, взаємозв'язок їх токсичності з фізико-хімічними властивостями ЗА необхідні дослідження розчинності ЗА в біологічних середовищах.

Метою цієї роботи було дослідження біологічної активності ЗА на основі впливу складу електродного покриття основного виду на розчинність ЗА в біологічних середовищах.

Зазвичай розчинність ЗА визначають в дистильованій воді та простих моделях біологічних середовищ: шлункового соку, крові тощо. І хоча вважається, що на шлунково-кишковий тракт припадає лише 10 % зварювальних аерозолів, що потрапляє до організму людини, саме це кислотне середовище спричиняє найбільшу розчинну дію. Тому в своїх основних дослідженнях ми використовували дистильовану воду та 0,3 % розчин HCl в якості аналога шлункового соку. Для цього було розроблено та відпрацьовано спеціальну методику [3] порівняльних досліджень біологічної активності зварювальних аерозолів на організм людини шляхом визначення їх розчинності у воді та імітаторах шлункового соку.

Відбирання проб ЗА для їх розчинення здійснювали в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України у відповідності зі стандартом [4] методом повного уловлювання аерозолу, що утворюється під час зварювання за допомогою спеціального стенду з фільтром ФПП, встановленого на шляху руху ЗА із укриття зони зварювання.

Для дослідження впливу складу електродного покриття основного виду на розчинність ЗА було підготовлено дві серії електродів з різним вмістом в покритті фтористого кальцію (флюорит  $\text{CaF}_2$ ) і сполук калію (поташ  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ). Склад покриття дослідних електродів основного виду наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

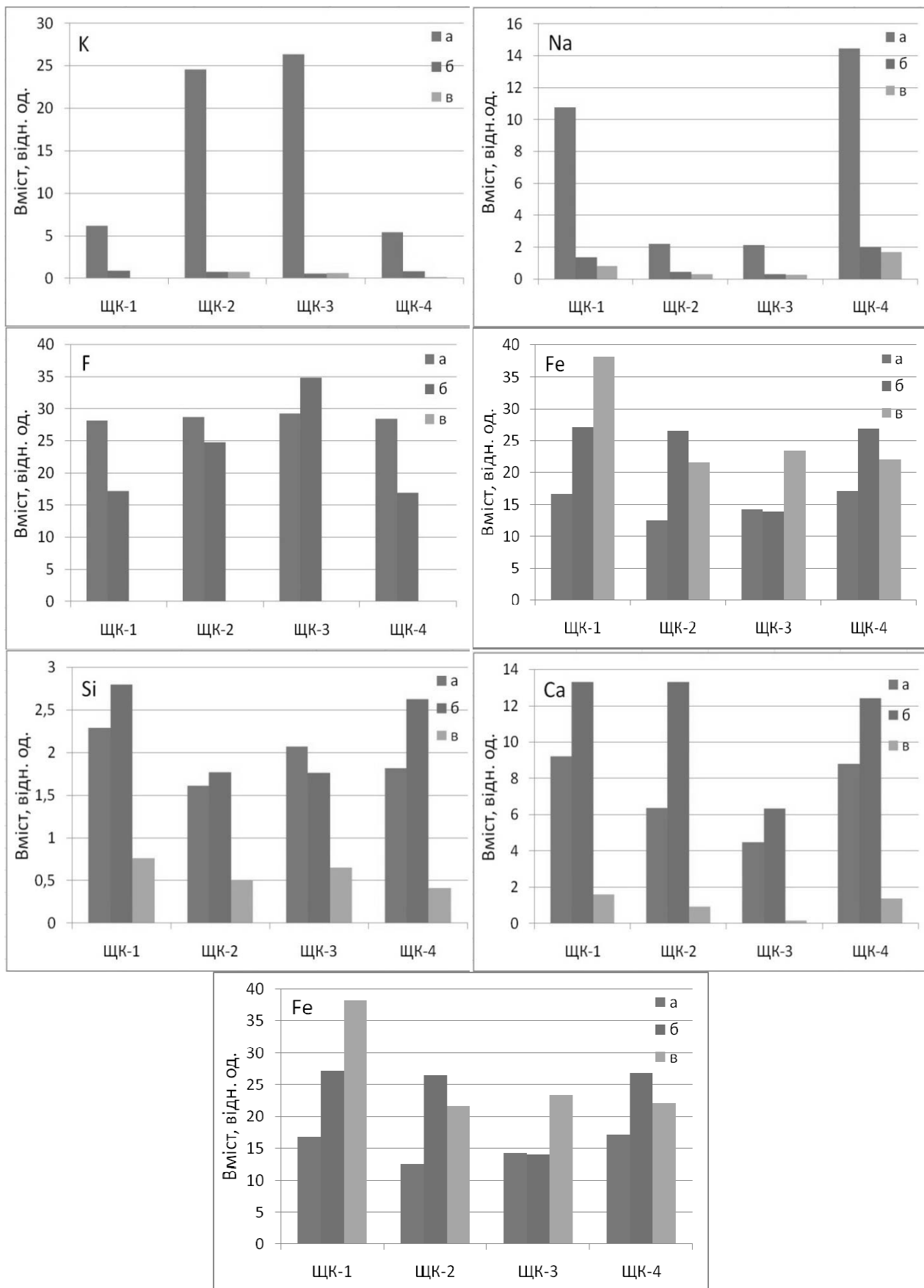
**Склад покриття дослідних електродів основного виду з різним вмістом фторидів і сполук лужних металів**

Компоненти покриття	Високий вміст фторидів				Низький вміст фторидів			
	ЩК-1	ЩК-2	ЩК-3	ЩК-4	ЩН-1	ЩН-2	ЩН-3	ЩН-4
Мармур	28	28	28	28	50	50	50	50
Флюоритовий концентрат	24	24	24	24	8	8	8	8
Рутиловий концентрат	6	6	6	6	7	7	7	7
Кварцовий пісок	—	—	—	—	15	15	15	15
Феромарганець	5	5	5	5	6	6	6	6
Феросиліцій	2,5	2,5	2,5	2,5	3	3	3	3
Феротитан	4	4	4	4	9	9	9	9
Залізний порошок	23	19	15	19	—	—	—	—
Поташ	—	4	8	—	—	4	8	—
Сода	—	—	—	4	—	—	—	4
Пегматит	6	6	6	6	—	—	—	—
Карбоксиметил-целюлоза	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1
Електродна целюлоза	1	1	1	1	1	1	1	1
Тип рідкого скла	натріє- ве	калієве	калієве	натріє- ве	натріє- ве	калієве	калієве	натріє- ве

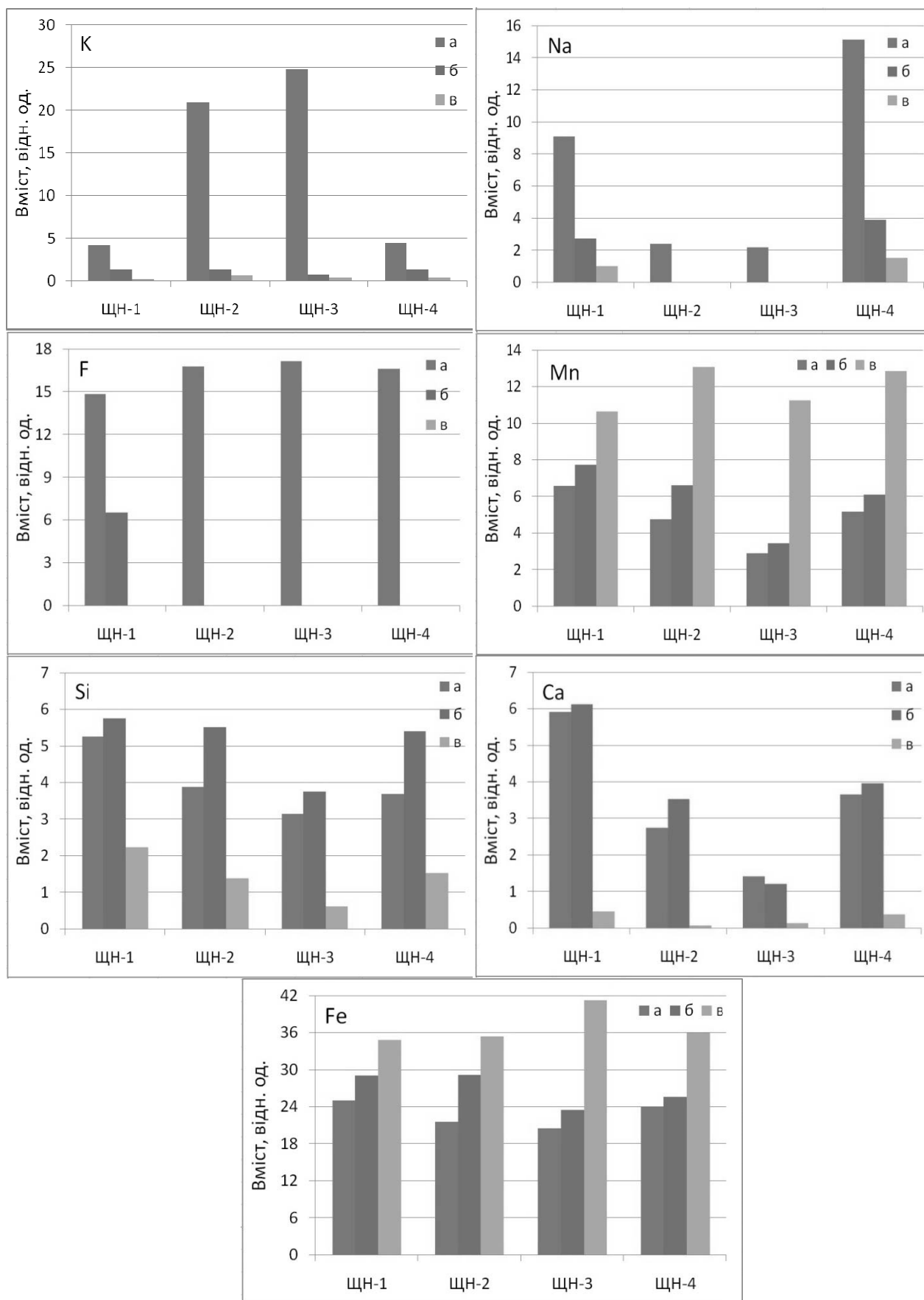
У першій серії електродів (умовна назва ЩК) вміст  $\text{CaF}_2$  становив 24 % мас., а у другій серії (умовна назва ЩН) – 8 % мас. Сполуки калію в кожній серії електродів вводили в покриття у вигляді карбонату калію ( $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) у кількості 0 %, 4 % та 8 % мас.: ЩК-1, ЩК-2, ЩК-3 для першої серії та ЩН-1, ЩН-2, ЩН-3 для другої серії відповідно. У кожній серії також підготували електрод без карбонату калію, але з додаванням у покриття 4 % соди: ЩК-4 і ЩН-4, відповідно.

Дослідними електродами проводили зварювання та відбирали проби ЗА за стандартною методикою на паперовий фільтр. Розчинність вивчали в імітаторі шлункового соку (0,3 %  $\text{HCl}$ ) та дистильованій воді при 37°C упродовж 4-х годин.

Отримані дані масової частки нерозчинного залишку (X, %), його елементного складу та якості фільтратів для серії ЩК наведено на рис. 1, а для серії ЩН – на рис. 2.



**Рис. 1.** Вміст елементів в нерозчинному залишку ЗА в залежності від виду використаного розчинника для електродів серії ЩК-1–ЩК-4: а – вихідний стан, б – дистильована вода, в – 0,3 % розчин HCl



**Рис. 2.** Вміст елементів в нерозчинному залишку ЗА в залежності від виду використаного розчинника для електродів серії ЩН-1–ЩН-4: а – вихідний стан, б – дистильована вода, в – 0,3 % розчин HCl

Встановлено, що розчинність ЗА в імітаторі шлункового соку значно більша, ніж в дистильованій воді і складає приблизно 85–95% мас. Також, загалом у ЗА електродів першої серії (ЩК) з більшим вмістом  $\text{CaF}_2$  розчинність дещо більша, ніж для другої серії (ЩН) в обох середовищах. Це відповідає відомій з літератури тенденції – розчинність марганцю, заліза та кремнію надзвичайно зростає для ЗА, що містять фториди

Результати досліджень показали, що розчинність ЗА електродів обох серій (ЩК і ЩН) у дистильованій воді залежить від вмісту сполук калію та зростає зі збільшенням масової частки поташу. Сполуки калію також дещо збільшують розчинність в імітаторі шлункового соку, однак вказати коректні дані саме розчинності неможливо, оскільки для цих випадків фільтрати з осадом ЗА стають колоїдними.

Слід відзначити також, що додавання лише 8 % поташу призводить до зменшення масової частки нерозчинного залишку у дистильованій воді майже вдвічі: з 62 % до 35 % для серії ЩК і з 73 % до 37 % для серії ЩН.

Для обох серій електродів також характерні такі результати:

- у дистильованій воді розчиняються переважно сполуки калію та натрію і, частково, сполуки фтору;
- в імітаторі шлункового соку практично повністю розчиняються сполуки фтору (ймовірно  $\text{NaF}$ ,  $\text{KF}$ ,  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ,  $\text{K}_2\text{SiF}_6$ ) і значною мірою сполуки кальцію ( $\text{CaF}_2$ );
- при розчиненні ЗА в дистильованій воді із зростанням вмісту  $\text{CaF}_2$  в покритті (серія ЩК) зростає кількість сполук фтору в нерозчинному осаді, в той же час в імітаторі шлункового соку сполуки фтору розчиняються повністю;
- розчинність ЗА з високим вмістом  $\text{CaF}_2$  дещо вища порівняно з його низьким вмістом як у дистильованій воді, так і в імітаторі шлункового соку;
- збільшення вмісту в ЗА сполук натрію за рахунок зменшення сполук калію призводить до помітного зниження розчинності ЗА як в дистильованій воді, так і в імітаторі шлункового соку, особливо у випадку меншого вмісту фторидів у складі ЗА (тобто і у складі електродного покриття).

### *Висновки*

Одержані результати будуть корисними для фахівців медичного профілю, гігієни та охорони праці, а також розробників нових марок зварювальних електродів із поліпшеними гігієнічними характеристиками. Вони показали, що є можливість знижувати токсичність зварювальних аерозолів, оскільки їх розчинність може змінюватись в широких межах

залежно від складу електродного покриття, при зварюванні якими ці аерозолі утворюються.

Зі збільшенням вмісту фтористого кальцію та сполук лужних металів у складі ЗА, особливо сполук калію, розчинність ЗА зростає як у воді, так і в імітаторі шлункового соку. При розчиненні ЗА в дистильованій воді зі зростанням масової частки фтористого кальцію в покритті електродів, а відповідно, і у складі ЗА, підвищується вміст сполук фтору в нерозчинному осаді; при цьому в імітаторі шлункового соку сполуки фтору повністю розчиняються, що свідчить про їх підвищену активність у біологічному середовищі.

### Список літератури

1. Кундієв Ю. І. Токсикологія аерозолів : монографія / Ю. І. Кундієв, М. М. Корда, М. О. Кашуба, О. В. Демецька. – Тернопіль : ТДМУ, 2015. – 256 с.

2. Походня И. К., Супрун С. А., Оноприенко Е. Н. Зависимость токсичности сварочной пыли от содержания в ней фтора и марганца / И. К. Походня, С. А. Супрун, Е. Н. Оноприенко // Гигиена труда: Респ. межведомственный сборник – 1983. – Вып. 19. – С. 20–24.

3. Левченко О. Г., Степанюк С. М. Розроблення методики дослідження розчинності зварювальних аерозолів з метою зменшення професійної захворюваності / О. Г. Левченко, С. М. Степанюк // Проблеми охорони праці в Україні. – К. : ДУ «ННДПБОП». – 2016. – Вип. 31. – С. 120–127.

4. 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]. – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 8 с.

*Дата подання статті до збірника – 24.04.2017*