

**М.М. Ялалова, А.И. Сердюк**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,  
г. Макеевка, Донецкая Народная Республика

## **ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БОРФТОРИСТОВОДОРОДНОГО ЭЛЕКТРОЛИТА ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ СВИНЦОВО-КИСЛОТНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ**

Рассмотрены преимущества электролита, используемого для переработки отработанных свинцово-кислых аккумуляторов на основе борфтористоводородной кислоты. Экспериментально определены концентрации соединений свинца и фторидов в выбросах с поверхности электролита. Описана методика приготовления борфтористоводородного электролита. Построены графические зависимости и выведены уравнения удельного количества фторидов и свинца, выделившихся с поверхности электролитов в зависимости от их составов, при различных температурах. Проведенные эксперименты показали, что выбросы фторидов и свинца не зависят от катодной плотности тока, определяющей скорость процесса выделения из раствора металлического свинца на катоде. Показано, что для борфтористоводородного электролита при повышении температуры с 25 до 40 °С выбросы фторидов и свинца увеличиваются в 2,1 и 1,9 раза соответственно. Рассчитаны выбросы фторидов и свинца для двух типовых составов электролитов. Отмечено, что электролит № 1 в 2,5 раза более токсичен, чем электролит № 2. Полученные результаты являются частью исследований, необходимых для создания новых менее токсичных электролитов, применяемых при переработке автомобильных батарей. Варьируя состав электролита и температуру, можно достичь минимальных выбросов фторидов и свинца в атмосферу с повышением скорости выделения свинца из раствора при переработке отработанных автомобильных свинцово-кислотных батарей. Установлено, что выбросы фторидов превышают выбросы свинца в 10–245 раз с учетом долей ПДК в зависимости от состава электролита. Следовательно, необходимо разрабатывать мероприятия по очистке выбросов от фторидов и соединений свинца в воздухе рабочей зоны при электрохимической переработке отработанных свинецсодержащих аккумуляторов. Приведены условия безопасной эксплуатации данного электролита и рекомендации при его разливе.

**Ключевые слова:** безопасность, борфтористоводородный электролит, выбросы, утилизация, свинцово-кислотные аккумуляторы.

**M.M. Yalalova, A.I. Serdyuk**

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,  
Makeevka, Donetsk People's Republic

## **INDUSTRIAL SAFETY IN THE OPERATION OF FLUOBORIC ELECTROLYTE FOR THE RECYCLING OF LEAD-ACID BATTERIES**

The advantages of the electrolyte used for the processing of spent hydrofluoric acid lead-acid batteries are considered. Experimentally determined concentrations of lead compounds and fluorides in emissions from the surface of the electrolyte. The method of preparation of hydrofluoride electrolyte is described. Graphic dependences were constructed and the equations for the specific amount of fluorides and lead released from the surface of electrolytes, depending on their composition, were derived at different temperatures. Experiments have shown that the emissions of fluoride and lead do not depend on the cathode current density, which determines the speed of the process of separation from a solution of metallic lead on the cathode. It is shown that for a hydrofluoric electrolyte with an increase in temperature from 25 to 40 °C, the emissions of fluoride and lead increase by 2.1 and 1.9 times, respectively. Calculated emissions of fluoride and lead for two typical compositions of electrolytes. It is noted that electrolyte № 1 is 2.5 times more toxic than electrolyte № 2. The obtained results are part of the research needed to create new less toxic electrolytes used in the processing of automotive batteries. By varying the composition of the electrolyte and the temperature, it is possible to achieve minimum emissions of fluoride and lead into the atmosphere with an increase in the rate of release of lead from solution during the processing of used automotive lead-acid batteries. It was established that fluoride emissions exceed lead emissions by 10-245 times, taking into account the MPC fractions depending on the electrolyte composition. Therefore, it is necessary to develop measures to clean up emissions from fluorides and lead compounds in the air of the working area during the electrochemical processing of spent lead-containing batteries. The conditions for the safe operation of this electrolyte and recommendations for its spill are given.

**Keywords:** security, fluoboric electrolyte, emissions, recycling, lead-acid batteries.

Свинец, его соединения и электролиты для осаждения свинца довольно токсичны [1]. Основным ресурсом вторичного свинца являются отслужившие свинцово-кислотные аккумуляторы (ОСКА). Вместе с тем отработанные свинцовые батареи (а срок их эксплуатации – до 3 лет) экологически опасны [2].

Для извлечения свинца из металлического лома в основном применяют пирометаллургические методы. При пирометаллургическом способе переработки весь аккумулятор с добавлением угля подвергают обжигу. При этом выбрасывается в атмосферу большое количество диоксида серы (за счет электролита и сульфата свинца), формальдегида (за счет корпуса аккумулятора) и аэрозолей, содержащих свинец. Достоинствами пирометаллургической схемы являются ее малостадийность, сравнительно высокое прямое извлечение свинца в металл, использование высокопроизводительного оборудования непрерывного действия [3].

Применяемые в настоящее время пирометаллургические методы переработки аккумуляторов достаточно энергоемкие и дорогостоящие, их использование приводит к значительному загрязнению окружающей среды, что вынуждает к поиску новых, экологически более чистых технологий.

Существует также электрохимический способ переработки ОСКА [4]. Его применяют реже, хотя промышленное использование электролиза свинца известно с 1903 г. (завод «Трейл», Канада). Электролизом рафинируют около 20 % производимого в мире свинца [5].

В настоящее время доля свинца, рафинируемого электролитическим способом, возрастает. Особенно широко используют электролитические методы заводы Японии, Италии и Канады [6].

При электрохимической переработке ОСКА используется борфтористоводородный электролит, обладающий высокой производительностью, устойчивостью и простотой состава [7]. Наибольшую экологическую опасность для атмосферы из всех компонентов борфтористоводородного электролита представляют выбросы свинца – I класс опасности – и фторидов – II класс опасности [8].

Процесс электрохимической переработки сопровождается гораздо меньшими выбросами свинца в атмосферу: при металлургическом способе выброс свинца в виде пыли составляет 2 кг/т, при электрохимическом в виде аэрозоля – 0,01 кг/т [9].

*Повышение температуры электролита* от комнатной до 40 °С способствует интенсификации процесса электроосаждения металлов, т.е. появляется возможность работать при более высоких плотностях тока (так как подвижность ионов возрастает) и с большей скоростью выделения свинца из электролита [10].

Цель работы – количественно сравнить закономерности выбросов соединений свинца и фторидов с поверхности электролита при утилизации автомобильных аккумуляторов в зависимости от состава электролита при 25 и 40 °С.

Использовали электролиты, содержащие 100 г/л свинца в виде  $Pb(BF_4)_2$ , 20–200 г/л свободной  $HBF_4$  и 30 г/л –  $H_3BO_3$ . Температура электролита равна 25 и 40 °С. Для получения плотных гладких осадков в электролит добавляли желатину 1,0 г/л. В качестве анода использовали десульфатированную ячейку отработанного аккумулятора. Десульфатация аккумуляторных пластин проводилась в растворе гидроксида натрия концентрацией 10–20 г/л в течение суток, после чего пластины несколько раз промывались дистиллированной водой до нейтральной реакции по универсальной индикаторной бумаге. Катодом служила свинцовая пластинка. Катодная плотность тока составляла 100 А/м<sup>2</sup>.

Для приготовления борфтористоводородного электролита в борфтористоводородную кислоту при непрерывном перемешивании добавляли соль свинца, растертую в воде в густую кашу. Отстоявшийся раствор переливали в ванну для электролиза. Ванну доливали водой до рабочего объема и вводили поверхностно-активную добавку в виде желатины. Желатину предварительно выдерживали в течение 1–2 сут в холодной воде, затем растворяли в горячей воде. Борную кислоту также растворяли отдельно. Приготовленный электролит перед пуском в эксплуатацию прорабатывали под током в течение нескольких часов. Поскольку реакция образования кислоты идет с большим выделением тепла, необходимо применять при этом вентиляционные устройства.

Замеры концентрации фторидов производились через 30 мин после начала электролиза. Отбор проб проводился следующим образом: 10 л исследуемого воздуха со скоростью 0,5 л/мин протягивали с помощью электроасpirатора «Тайфун МС» через два последовательно закрепленных поглотителя Зайцева, наполненных 10 мл дистиллированной водой каждый.

Концентрация фторидов в выбросах определялась фотоколориметрическим методом на приборе КФК-2 с лантаном и ализарин-комплексом. Ализарин-комплекс в кислой среде имеет желтую окраску, в щелочной – красную. С лантаном этот индикатор образует комплексное соединение, окрашенное в красный цвет в кислой среде. Фторид-ион, замещая одну из двух молекул воды, связанных координационно, образует тройной комплекс – сиренево-синее соединение, интенсивность окраски которого измерялась при длине волны  $\lambda = 610 \dots 620$  нм. Присутствие незначительного избытка двойного комплекса (красного) при этой длине волны проходящего света на оптическую плотность раствора практически не влияет. Ход определения следующий: в мерную колбу емкостью 50 мл вводили 10 мл пробы, приливали 5 мл 0,0005 М раствора ализарин-комплексона, 1 мл ацетатного буферного раствора, 5 мл 0,0005 М раствора нитрата лантана, доводили до отметки дистиллированной водой, тщательно перемешивали и оставляли на 1 ч в темном месте. Затем окрашенный раствор переносили в кювету с толщиной слоя 5 см, измеряли оптическую плотность при  $\lambda = 610 \dots 620$  нм. По калибровочной прямой определяли содержание фторидов в анализируемой пробе. Чувствительность метода составляет 0,1 мг/л, суммарная погрешность не превышает  $\pm 5$  %.

Определение выбросов свинца с поверхности электролита основано на взаимодействии иона свинца с сульфарсазеном с образованием комплексного соединения, окрашенного в желто-оранжевый цвет. Нижний предел измерения в анализируемом объеме раствора 1 мкг. Нижний предел измерения в воздухе от 0,005 до 0,12 мг/м<sup>3</sup>. Отбор проб производили с концентрированием на фильтре. Воздух с объемным расходом 20 л/мин аспирировали с помощью электроасpirатора «Тайфун МС» через фильтр АФА-ХП-20, закрепленный в фильтродержатель. Для измерения отбирали 400 л воздуха. Ход определения следующий: фильтр с пробой переносили в химический стакан, заливали 10 мл раствора азотной кислоты, нагревали при перемешивании стеклянной палочкой на кипящей водяной бане в течение 7–10 мин. Фильтр отжимали стеклянной палочкой на стенке стакана, промывали дистиллированной водой дважды по 5 мл. Раствор упаривали досуха на водяной бане. В стакан приливали 5 мл 3%-ного раствора ацетата аммония, тщательно растирая осадок палочкой, при необходимости раствор центрифугировали. 1–2,5 мл прозрачного раствора помещали в колориметрические пробирки. Добавляли 0,2 мл 10%-ного раствора тиомочевины (для связывания ионов меди), 0,1 мл 1%-ного раствора желтой кровяной соли (для связывания ионов цинка), 4,5 мл 0,05 М раствора буры (в качестве буферного раствора) и 0,5 мл 0,025%-ного раствора сульфарсазена. После добавления содержимое пробирок перемешивали. Выдерживали 30 мин, затем фотометрировали. Измерение оптической плотности раствора пробы проводили относительно усредненного контрольного раствора, полученного путем обработки не менее 3–4 чистых фильтров. Содержание свинца в анализируемом растворе пробы (мкг) находили по градуировочному графику. Основная допустимая приведенная погрешность измерения расхода воздуха  $\pm 5$  %.

Данные измерений удельного количества фторидов в зависимости от концентрации борфтористоводородной кислоты, выделяющихся с поверхности электролитов при 25 °С, представлены ниже.

$C_{\text{HBF}_4}$ , г/л	0	30	60	100	150	200
$V_{\text{уд F1}}$ , г/(ч·м <sup>3</sup> )	0	0,6	1,8	2,7	4,2	4,9

По методу наименьших квадратов рассмотрели зависимость выбросов фторидов ( $V_{\text{уд F1}}$ ) от концентрации борфтористоводородной кислоты ( $C_{\text{HBF}_4}$ ) в электролите, которая описывается следующим уравнением:

$$V_{\text{удF1}} = 0,026 \cdot C_{\text{HBF}_4}, \quad (1)$$

где  $C_{\text{HBF}_4}$  – концентрация борфтористоводородной кислоты в электролите (по фтору), г/л.

Аналогичная зависимость получена при других постоянных концентрациях соли свинца в электролите, равных 40, 80, 150 и 200 г/л.

Данные измерений удельного количества фторидов в зависимости от концентрации борфтористоводородной кислоты, выделяющейся с поверхности электролита при 40 °С, представлены ниже.

$C_{\text{HBF}_4}$ , г/л	0	30	60	100	150	200
$V_{\text{удF1}}$ , г/(ч·м <sup>2</sup> )	0	1,1	3,4	5,1	8,0	9,5

Зависимость удельного количества фторидов ( $V_{\text{удF1}}$ ), выделяющихся с поверхности электролитов, от концентрации борфтористоводородной кислоты ( $C_{\text{HBF}_4}$ ) в них при 40 °С описывается уравнением

$$V_{\text{удF1}} = 0,050 \cdot C_{\text{HBF}_4}, \quad (2)$$

где  $C_{\text{HBF}_4}$  – концентрация борфтористоводородной кислоты в электролите (по фтору), г/л.

Аналогичная зависимость получена при других постоянных концентрациях соли свинца в электролите, равных 40, 80, 150 и 200 г/л.

Измеряли количество выбросов фторидов с поверхности электролита при постоянной концентрации  $\text{HBF}_4$ , равной 45 г/л, и переменной концентрации  $\text{Pb}(\text{BF}_4)_2$  от 20 до 200 г/л. Температура электролита – 25 и 40 °С. Катодная плотность тока – 100 А/м<sup>2</sup>.

Построена зависимость удельных выбросов фторидов ( $V_{\text{удF}}$ ) и свинца ( $V_{\text{удPb}}$ ) от концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в электролите при 25 °С, которая представлена на рис. 1.

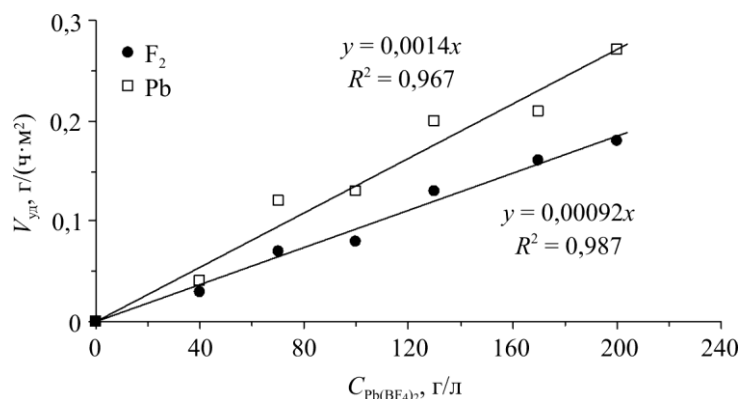


Рис. 1. Удельное количество фторидов ( $V_{\text{удF}}$ ) и свинца ( $V_{\text{удPb}}$ ), выделяющихся с поверхности электролитов, при разной концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в них при 25 °С

Наблюдается прямая зависимость выбросов от концентрации соли свинца, обработанная методом наименьших квадратов.

Рассчитали зависимость выбросов фторидов ( $V_{\text{удF}}$ ) и свинца ( $V_{\text{удPb}}$ ) при разной концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в электролите и при различных температурах (см. рис. 1), которая описывается уравнениями:

$$V_{\text{удF}_2} = 0,00092 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}, \quad (3)$$

$$V_{\text{удPb}} = 0,0014 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}, \quad (4)$$

где  $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$  – концентрация соли свинца в электролите (по свинцу), г/л.

Построена зависимость выбросов фторидов ( $V_{\text{удF}}$ ) и свинца ( $V_{\text{удPb}}$ ) от концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в электролите при 40 °С, которая представлена на рис. 2.

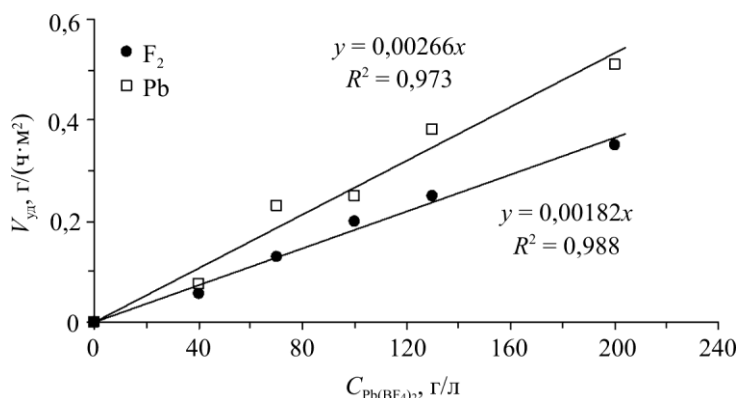


Рис. 2. Удельное количество фторидов ( $V_{\text{удF}}$ ) и свинца ( $V_{\text{удPb}}$ ), выделяющихся с поверхности электролитов, при разной концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в них при 40 °С

По методу наименьших квадратов рассчитали зависимость выбросов фторидов ( $V_{\text{удF}}$ ) и свинца ( $V_{\text{удPb}}$ ) при разной концентрации соли свинца ( $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$ ) в электролите, которая описывается следующими уравнениями:

$$V_{\text{удF}_2} = 0,0018 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}, \quad (5)$$

$$V_{\text{удPb}} = 0,0027 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}, \quad (6)$$

где  $C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}$  – концентрация соли свинца в электролите (по свинцу), г/л.

Установлено, что выбросы фторидов не зависят от концентрации соли свинца в диапазоне 40–200 г/л для борфтористоводородного электролита. С другой стороны, выбросы соли свинца и фторидов за счет свинцовой соли не зависят от концентрации борфтористоводородной кислоты. Это позволяет в таких диапазонах составных компонентов электролита предложить суммарные уравнения удельных выбросов фторидов и свинца с поверхности борфтористоводородного электролита ( $\sum V$ ):

При 25 °С:

$$\sum V = V_{\text{удF1}} + V_{\text{удF2}} + V_{\text{удPb}} = 0,026 \cdot C_{\text{HBF}_4} + 0,00092 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2} + 0,0014 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}. \quad (7)$$

При 40 °С:

$$\sum V = V_{\text{удF1}} + V_{\text{удF2}} + V_{\text{удPb}} = 0,050 \cdot C_{\text{HBF}_4} + 0,0021 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2} + 0,0027 \cdot C_{\text{Pb}(\text{BF}_4)_2}. \quad (8)$$

Проведенные эксперименты также показали, что выбросы фторидов и свинца не зависят от катодной плотности тока от 0 до 150 А/м².

Исходя из уравнений (1)–(8) видно, что для борфтористоводородного электролита при повышении температуры с 25 до 40 °С выбросы фторидов увеличиваются в 2,1 раза (за счет кислоты и соли свинца), свинца – в 1,9 раза.

Присутствие в выбросах фторидов можно объяснить двумя факторами. Первый – улетучивание с поверхности электролита борфтористоводородной кислоты. Второй – выделение газовых пузырьков водорода и кислорода, как продуктов гидролиза воды, и унос ими всех составляющих электролита, т.е. борфтористоводородной кислоты и ее свинцовой соли. При данных условиях эксперимента зрительно не замечено выделение газовых пузырьков с поверхности электролита, так как данные плотности тока были меньше допустимых. Поэтому можно пред-

положить, что основная масса фторидов в выбросах обусловлена испарением с поверхности электролитов борфтористоводородной кислоты, которая захватывает в виде аэрозоля ее свинцовую соль [11].

Рассчитали выбросы фторидов и свинца на примере двух типовых составов электролитов (табл. 1, 2), которые используются при свинцевании, электрорафинировании свинца и переработке свинцово-кислотных аккумуляторов [12].

Таблица 1

Составы электролитов и режимы работы электролиза при 25 и 40 °С [13, 14]

№ п/п	Компоненты электролитов и режимы их работы	Состав электролитов, г/л	
		1	2
1	Pb(BF <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	40	180–200
2	HBF <sub>4</sub>	180	40–45
3	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	30	
4	Желатина	1,0	
5	Температура, °С	25, 40	
6	Плотность тока, А/м <sup>2</sup>	100	

Таблица 2

Удельные выбросы фторидов и свинца с зеркала борфтористоводородных электролитов при различных температурах

№ п/п	Состав выбросов	Удельный выброс, V <sub>уд</sub> , мг/(с·м <sup>2</sup> )			
		40 °С		25 °С	
		1	2	1	2
1	Фториды (F <sub>1</sub> )	9,36 (99 %)	2,08 (84,6 %)–2,34 (84,8 %)	4,04 (99 %)	0,89 (90 %)–1,01 (91 %)
2	Фториды (F <sub>2</sub> )	0,084 (1 %)	0,378 (15,4 %)–0,42 (15,2 %)	0,02 (1 %)	0,09 (10 %)–0,1 (9 %)
3	Фториды (ΣF)	9,44	2,458–2,76	4,06	0,98–1,11
4	Свинец	0,108	0,486–0,54	0,03	0,14–0,15
Сумма токсичных выбросов		9,548	2,944–3,3	4,09	1,12–1,26
Доля фторидов в выбросах, %		99	84	99	88

Проанализировав данные, приведенные в табл. 2, следует отметить, что электролит № 1 в 2,5 раза более токсичен по сравнению с электролитом № 2.

В общей сумме токсичных выбросов в основном преобладают фториды (84–99) %. Основным источником фторидов является борфтористоводородная кислота. Выбросы свинца составляют всего лишь (1–16) % от общих выбросов в атмосферу.

Таким образом, из большого разнообразия составов электролитов можно выделить электролиты, которые выбрасывают в воздух значительно меньше вредных веществ и лучше обеспечивают безопасность труда работающих.

Изменяя состав электролита и температуру, можно достичь минимальных выбросов фторидов и свинца в атмосферу с повышением скорости выделения свинца из раствора при переработке отработанных свинцово-кислотных батарей.

Рассчитаем концентрацию фторидов в условном помещении, имеющем длину 30 м, ширину 20 м и высоту 5 м, за 1 ч работы для вышеприведенных составов электролитов. Условно принятая площадь ванны для электролиза составляет 1 м<sup>2</sup>. Расчет концентрации загрязняющих веществ проводим при отсутствии вентиляции. Сравниваем рассчитанную величину с предельно допустимой концентрацией в рабочей зоне (ПДК<sub>р.з.фг</sub> = 0,005 мг/м<sup>3</sup>). Аналогично рассчитаем концентрацию свинца в воздухе условного помещения и сравним ее с предельно допустимой концентрацией в рабочей зоне (ПДК<sub>р.з.рб</sub> = 0,01 мг/м<sup>3</sup>).

Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения концентраций вредных веществ в закрытом помещении в долях ПДК

№ п/п	Выбросы	Концентрация <i>i</i> -го компонента в условном помещении, мг/м <sup>3</sup>				Концентрация <i>i</i> -го компонента в условном помещении, доли ПДК			
		при 40 °С		при 25 °С		при 40 °С		при 25 °С	
		1	2	1	2	1	2	1	2
1	Фториды	11,3	2,9–3,3	4,9	1,18–1,3	2260	580–660	980	236–260
2	Свинец	0,13	0,58–0,65	0,04	0,17–0,18	13	58–65	4	17–18

Таким образом, выбросы фторидов превышают выбросы свинца в 10–245 раз с учетом долей ПДК в зависимости от состава электролита. Рабочее место должно быть оборудовано вытяжной вентиляцией. Для безопасной работы следует устанавливать вентиляционный шкаф над электрохимической ванной. В связи с этим необходимо разрабатывать мероприятия по очистке выбросов от фторидов и соединений свинца в воздухе рабочей зоны при электрохимической переработке отработанных свинецсодержащих аккумуляторных батарей.

Нарушение техники безопасности при работе с борфтористоводородным электролитом может привести к разливу, коррозии, загрязнению окружающей среды [15].

Если произошел разлив в землю, следует выкопать/оградить углубление, фториды нейтрализуются хлоридом железа (3) или сульфатом алюминия за счет образования нерастворимых железных (3) или алюминиевых солей борфтористоводородной кислоты. В свою очередь соли свинца образуют нерастворимые соединения в виде сульфата свинца. Для окончательного удаления из раствора солей свинца последние могут быть нейтрализованы летучей золой, цементным порошком, CaO, CaCO<sub>3</sub> или NaHCO<sub>3</sub>. Желательно, чтобы pH суспензии был равен 9, поскольку при таком значении pH обеспечивается наименьшая концентрация солей свинца в водных суспензиях.

Места разлива или утечки электролитов надлежит незамедлительно изолировать и предотвратить дальнейший разлив, если нет возможности – контролировать разлив с наименьшим риском, подходить с наветренной стороны. Разлив собирается и изолируется для надлежащей утилизации. Необходимо не допускать разлива электролита в подвалы, канализацию, водоемы, замкнутые пространства.

### Список литературы

1. Astrid Sigel, Helmut Sigel, Roland K.O. Sigel. Lead: Its Effects on Environment and Health. Series: Metal Ions in Life Sciences 17, de Gruyter. – Boston, 2017. – 556 p.
2. Кашкаров А.П. Аккумуляторы. – М.: РадиоСофт, 2014. – 192 с.
3. Ванюков А.В., Зайцев В.Я. Теория пирометаллургических процессов: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1993. – 384 с.
4. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. – М.: Лань, 2015. – 670 с.
5. Тарасов А.В., Бессер А.Д., Мальцев В.И. Металлургическая переработка вторичного свинцового сырья. – М.: Гинцветмет, 2003. – 224 с.
6. Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical methods. Fundamentals and applications. – 2nd ed. – Wiley: John Wiley and Sons, 2001. – 850 p.
7. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
8. Fluorine Compounds, Inorganic, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry / J. Aigueperse, P. Mollard, D. De Villiers, M. Chemla, R. Faron, R. Romano, J. Cuer. – Weinheim: Wiley-VCH, 2005. – P. 307–309.
9. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство. – М.: Глобус, 1998. – 302 с.
10. Стромберг А.Г., Семченко Д.П. Физическая химия: учебник для хим. спец. вузов / под ред. А.Г. Стромберга. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 1999. – 527 с.

11. Сердюк А.И., Ялалова М.М. Воздействие электролита различного состава на выбросы фторидов при электрохимической переработке свинецсодержащих аккумуляторов // Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. интернет-конф. – Тула: ТГУ, 2017. – С. 509–514.
12. Ильин В.А. Цинкование, кадмирование, оловянирование и свинцевание. – Л.: Машиностроение, 1983. – 87 с.
13. Беленький М.А., Иванов А.Ф. Электроосаждение металлических покрытий: справ. – М.: Metallurgia. – 1985. – 288 с.
14. Мамаев В.И. Функциональная гальванотехника: учеб. пособие. – Киров: ВятГУ. – 2013. – 208 с.
15. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. – М.: Высшая школа. – 2003. – 542 с.

#### References

1. Astrid Sigel, Helmut Sigel, Roland K.O. Sigel. (2017) *Lead: Its Effects on Environment and Health*. Series: Metals in Life Sciences 17, de Gruyter, Boston. 556 p.
2. Kashkarov A.P. Akkumulyatoryi. [Batteries. Directory]. Moscow: RadioSoft, 2014, 192 p.
3. Vanyukov A.V., Zajcev V.Ya. Teoriya pirometallurgicheskikh processov. [Theory of pyrometallurgical processes]. Moscow: Metallurgiya, 1993, 384 p.
4. Damaskin B.B., Petrij O.A., Cirlina G.A. () Ehlektrokhimiya. [Electrochemistry]. Moscow: Lan', 2015, 670 p.
5. Tarasov A.V., Besser A.D., Maltsev V.I. Metallurgicheskaya pererabotka vtorichnogo svintsovogo syrya. [Metallurgical processing of secondary lead raw materials]. Moscow: Gintsvetmet, 2003, 224 p.
6. Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical methods. Fundamentals and applications. 2nd ed. Wiley: John Wiley and sons, 2001, 850 p.
7. Bagotsky V.S., Skundin A.M. Himicheskie istochniki toka [Chemical current sources]. Moscow: Energoizdat, 1981, 360 p.
8. Aigueperse J, Mollard P, De Villiers D, Chemla M, Faron R, Romano R, Cuer J. Fluorine Compounds, Inorganic. Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. Weinheim: Wiley-VCH. 2005, pp. 307-309.
9. Vinogradov S.S. Ehkologicheskii bezopasnoe galvanicheskoe proizvodstvo [Ecologically safe galvanic production]. Moscow: Globus, 1998, 302 p.
10. Stromberg A.G., Semchenko D.P. Fizicheskaya himiya [Physical chemistry]. 3d. ed. Ed. Stromberg A.G. Moscow, Vysshaya shkola. 1999, 527 p.
11. Serdyuk A.I., Yalalova M.M. Vozdeystvie elektrolita razlichnogo sostava na vyibrosyi ftoridov pri elektrokhimicheskoy pererabotke svinetsoderzhaschih akkumulyatorov [Effect of electrolyte of different composition on fluoride emissions during electrochemical processing of lead-containing batteries] // *Kadastr nedvizhimosti i monitoring prirodnyh resursov. Sbornik nauchnyh trudov*. Tula, TGU, 2017, pp. 509-514.
12. Il'in V.A. Cinkovanie, kadmirovanie, olovyanirovanie i svincevanie. [Galvanizing, cadmium plating, tinning and lead plating]. Leningrad: Mashinostroenie, 1983, 87 p.
13. Belenky M.A., Ivanov A.F. Elektroosazhdenie metallicheskih pokrytiy: spravochnik. [Electrodeposition of metallic coatings: handbook]. Moscow: Metallurgiya, 1985, 288 p.
14. Mamaev V.I. Funkcionalnaya galvanotekhnika. [Functional electroplating]. Kirov: VyatGU, 2013, 208 p.
15. Kasatkin A.S., Nemcov M.V. Elektrotehnika. [Electrical engineering]. Moscow: Vysshaya shkola, 2003, 542 p.

Получено 14.01.2019

#### Об авторах

**Ялалова Маргарита Маратовна** (Макеевка, Донецкая Народная Республика) – аспирант кафедры «Техносферная безопасность» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, e-mail: yalalova-rita@mail.ru).

**Сердюк Александр Иванович** (Макеевка, Донецкая Народная Республика) – профессор кафедры «Техносферная безопасность» Донбасской национальной академии строительства и архитектуры (286123, г. Макеевка, ул. Державина, 2, e-mail: ecoalserdiuk@rambler.ru).

#### About the authors

**Margarita M. Yalalova** (Makeevka, Donetsk People's Republic) – Postgraduate Student, Department of Technosphere safety, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, (2, Derzhavin st., Makeevka, 286123, Donetsk People's Republic, e-mail: yalalova-rita@mail.ru).

**Alexander I. Serdiuk** (Makeevka, Donetsk People's Republic) – Professor, Department of Technosphere Safety, Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture, (2, Derzhavin st., Makeevka, 286123, Donetsk People's Republic, e-mail: ecoalserdiuk@rambler.ru).