



## ВОЗВРАТ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦИКЛ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ СОЕДИНЕНИЙ ЛИТИЯ ИЗ ВОЗДУХА РАБОЧЕЙ ЗОНЫ\*

*Л.Л. Феропонтова, Н.А. Булаев, Ю.А. Феропонтов, Н.В. Постернак*

<sup>1</sup>ОАО Корпорация «Росхимзащита»

д. 19, Моршанское шоссе, г. Тамбов, 392680, Россия

тел.: +7 (4752) 56-06-80; e-mails: mail@roshimzaschita.ru, ferapontova2005@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.10-12.52-62

Заключение совета рецензентов: 15.02.18 Заключение совета экспертов: 27.09.18 Принято к публикации: 05.03.19

На основании анализа экспериментальных данных установлено, что основным источником выбросов пыли соединений лития в окружающую среду являются используемые в технологическом процессе на стадии изготовления хемосорбентов вакуум-сушильные шкафы и прессы, над которыми установлена принудительная вытяжная вентиляция, эффективно удаляющая из воздуха рабочей зоны пыль соединений лития (до значения  $0,014 \text{ мг/м}^3$ , что на 30 % меньше предельно допустимой концентрации (ПДК). Методами химического и качественного рентгенофазового анализа был определен химический состав пыли: основными компонентами являются моногидрат гидроксида лития и гидроксид лития – вещества, используемые в технологических процессах как основное сырье и имеющие достаточно высокую стоимость. В статье анализировался дисперсный состав пыли и ее концентрация в воздухе рабочей зоны. Выявлено, что основную массу пыли составляют частицы значительно крупнее  $10 \text{ мкм}$ , а концентрация пыли соединений лития составляет не более  $4,6\text{--}6,0 \text{ мг/м}^3$  на протяжении всего технологического процесса. Рассмотрено несколько систем очистки воздуха от пыли соединений лития. На основании анализа полученных результатов предложена система очистки, состоящая из батарейного циклона и последующего барботажа воздушного потока через слой воды. Эта система позволяет снизить концентрацию пыли до  $0,017 \text{ мг/м}^3$ , что на 15 % меньше ПДК для гидроксида и пероксида лития. Экспериментально показано, что полученная в результате удаления из воздуха рабочей зоны пыль соединений лития может быть использована в технологическом цикле синтеза пероксида лития, обеспечивая возможность получения конечного продукта с содержанием основного вещества до 93,3 % вес. Предложенная схема удаления пыли соединений лития и последующее возвращение пыли в производственный цикл может применяться при разработке исходных данных на проектирование экологически чистой технологии производства пероксида лития.

Ключевые слова: пыль соединений лития; дисперсный состав; системы фильтрации и очистки воздуха рабочей зоны; предельно допустимая концентрация; батарейный циклон; барботаж; эффективность очистки; гидроксид лития, карбонат лития; пероксид лития; системы защиты органов дыхания.

### AIR PROTECTION OF WORKING ZONE AGAINST FINE-DISPERSED LITHIUM COMPOUNDS DUST BY ITS RETURN TO THE PRODUCTION CYCLE

*L.L. Ferapontova, N.A. Bulaev, Yu.A. Ferapontov, N.V. Posternak*

\*Феропонтова Л.Л., Булаев Н.А., Феропонтов Ю.А., Постернак Н.В. Возврат в производственный цикл мелкодисперсной пыли соединений лития из воздуха рабочей зоны // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE), 2019;10-12:52-62.



Corporation "Roshimzaschita" Ltd.  
19 Morshanskoe Drive, Tambov, 392680, Russia  
tel.: +7 (4752) 56 06 80; e-mails: mail@roshimzaschita.ru, ferapontova2005@yandex.ru

doi: 10.15518/isjaee.2019.10-12.52-62

Referred 15 February 2018 Received in revised form 27 September 2018 Accepted 5 March 2019

Based on the analysis of experimental data, it was found that the main source of lithium compounds dust into the environment is the vacuum-drying cabinets and presses used in the technological process at the stage of manufacturing chemosorbents over which forced exhaust ventilation is installed, effectively removing the dust of lithium compounds from the air of the working area (up to a value of 0.014 mg/m<sup>3</sup> which is 30% less than MPC). We have used the chemical and qualitative X-ray phase analysis methods to determine the chemical composition of dust. It follows from the results obtained that the main components in the dust composition are lithium hydroxide monohydrate and lithium hydroxide – the substances used in technological processes as the main raw material and have a sufficiently high cost. The article analyzes the dispersed composition of dust and its concentration in the air of the working area. It was found that the bulk of the dust particles are much larger than 10 microns, and the dust concentration of lithium compounds is not more than 4.6–6.0 mg/m<sup>3</sup> throughout the process. Several systems of air purification from lithium compounds dust are considered. Based on the analysis of the results obtained, the purification system consisting of a battery cyclone and subsequent air flow bubbling through the water layer is proposed. The system allows us to reduce the dust concentration to a value of 0.017 mg/m<sup>3</sup> which is 15% less than the MPC for hydroxide and lithium peroxide. It is shown experimentally that the dust of lithium compounds obtained as a result of removal from the air of the working zone can be used in the technological cycle of synthesis of lithium peroxide providing the possibility of obtaining a final product with a content of the base material up to 93.3% by weight. This scheme of removal of lithium compounds dust and its subsequent return to the production cycle can be used in the development of initial data for the design of environmentally friendly lithium peroxide production technology.

Keywords: lithium compounds dust; dispersion composition; filtration and purification system of working zone air; limited permissible concentration; multiclone; bubbling; purification effectiveness; lithium hydroxide; lithium carbonate; lithium peroxide.



Людмила Леонидовна Ферапонтова  
Lyudmila Ferapontova

**Сведения об авторе:** канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаб. № 1 Отдела химии и новых химических технологий АО «Корпорация "Росхимзащита"».

**Образование:** ТГУ им. Г.Р. Державина (2000 г.).

**Область научных интересов:** адсорбция; технология неорганических веществ.

**Публикации:** 18.  
*h*-index: 3

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, Leading Researcher at Laboratory no. 1 of Department of Chemistry and New Chemical Technologies, Corporation "Roshimzaschita" Ltd.

**Education:** TSU name after G.R. Derzhavin, 2000.

**Research interests:** adsorption; technology of inorganic substances.

**Publications:** 18.



Николай Анатольевич Булаев  
Nikolay Bulaev

**Сведения об авторе:** старший научный сотрудник, лаб. № 1 Отдела химии и новых химических технологий АО «Корпорация "Росхимзащита"».

**Образование:** ТашГУ им. В.И. Ленина (1990 г.).

**Область научных интересов:** адсорбция; технология неорганических веществ.

**Публикации:** 5.

**Information about the author:** Leading Researcher at Laboratory no. 1 Department of Chemistry and New Chemical Technologies, Corporation "Roshimzaschita" Ltd.

**Education:** Tashkent State University name after V.I. Lenin, 1990.

**Research interests:** adsorption; technology of inorganic substances.

**Publications:** 5.



Юрий Анатольевич Ферапонтов  
Yuri Ferapontov

**Сведения об авторе:** канд. технических наук, начальник Отдела химии и новых химических технологий АО «Корпорация "Росхимзащита"».

**Образование:** химфак МГУ им. М. В. Ломоносова (1990 г.).

**Область научных интересов:** адсорбция; гетерогенные процессы, химия поверхности.

**Публикации:** 72.  
*h*-index: 6

**Information about the author:** Ph.D. in Engineering, Head of Laboratory no. 1 of Department of Chemistry and New Chemical Technologies, Corporation "Roshimzaschita" Ltd.

**Education:** Lomonosov Moscow State University, 1990.

**Research interests:** adsorption; surface chemistry.

**Publications:** 72.



Николай Владимирович Постернак  
Nikolay Posternak

**Сведения об авторе:** начальник лаб. №1 Отдела химии и новых химических технологий АО «Корпорация «Росхимзащита».

**Образование:** Тамбовский государственный технический университет (2000 г.).

**Область научных интересов:** адсорбция; очистка и разделение газов; технология неорганических веществ.

**Публикации:** 9.  
*h*-index: 1

**Information about the author** Head of Laboratory no. 1 of the Department of Chemistry and New Chemical Technologies, Corporation "Roshimzaschita" Ltd.

**Education:** TSTU, 2000.

**Research interests:** adsorption; gas cleaning and separation; technology of inorganic substances.

**Publications:** 9.

## 1. Введение

Жесткие современные требования, направленные на защиту и охрану здоровья гражданского населения и сотрудников промышленных предприятий, с каждым годом ужесточаются. Технологические линии, созданные в конце XX века, не отвечают современным экологическим и гигиеническим требованиям. На предприятиях химической отрасли все более остро встает вопрос о защите персонала от мелкодисперсной пыли химических соединений – разрабатываются новые системы вентиляции и фильтрации, поглотители вредных веществ, технологические схемы очистки воздуха производственной зоны.

Многие промышленные предприятия, занимающиеся разработкой систем защиты органов дыхания человека от поражающих факторов химической и биологической природы, с каждым годом наращивают объемы продукции, содержащей соединения лития (LiOH, Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и др.). Эти соединения выступают в качестве поглотителей диоксида углерода, выделяемого человеческим организмом, и генераторов необ-

ходимого для дыхания кислорода [1–3]. По литературным данным [4] уровень токсичности соединений лития повышается в следующей последовательности: LiCl < Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> < Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub> < LiOH. Хлорид лития и карбонат лития раздражают только кожный покров человека. Гидроксид и пероксид лития хорошо всасываются из желудочно-кишечного тракта, не образуют комплексов с белками плазмы и быстро проникают во все жидкие ткани человеческого организма, что является причиной раздражения не только кожи, но и слизистой оболочки верхних дыхательных путей, желудочно-кишечного тракта, центральной нервной системы, органов зрения, причем гидроксид лития по своему негативному воздействию на организм человека превосходит суммарное воздействие хлорида, карбоната и пероксида лития вместе взятых [5]. Таким образом, вопрос о разработке эффективной системы для улавливания пыли соединений лития и вовлечение ее в технологическую цепочку, то есть о возможности создания экологически безопасного производства, является актуальной задачей [6].

Список обозначений	
<i>Буквы греческого алфавита</i>	
$\lambda$	Длина волны
<i>Буквы латинского алфавита</i>	
LiCl	Лития хлорид (хлористый литий)
Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Лития карбонат (углекислый литий)
Li <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Пероксид лития
LiOH	Гидроксид лития (гидрат окиси лития)
H <sub>2</sub> O	Вода
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Перекись водорода
CO <sub>2</sub>	Диоксид углерода (двуокись углерода)
<i>d</i>	Межплоскостное расстояние, Å
<i>N</i>	Нормальность
<i>Аббревиатуры</i>	
ГН	Гигиенический норматив
ОБУВ	Ориентировочные безопасные уровни воздействия
ПДК	Предельно допустимая концентрация
ПКЦ	Серийный батарейный циклон
РФА	Рентгенофазовый анализ
СЖО	Система жизнеобеспечения

## 2. Теоретический анализ

Борьба с опасной мелкодисперсной пылью включает две операции: 1) улавливание пыли и нейтрализацию ее вредного воздействия; 2) регенерацию или утилизацию [7, 8]. Для удаления пыли из воздуха рабочей зоны и устранения вредных выбросов в атмосферу применяются разнообразные фильтрующие системы. При выборе конструкции фильтрующей системы необходимо учитывать довольно значительное количество факторов:

– характеристику очищаемого газа на входе в фильтрующую систему;

– средний объемный расход очищаемых газов в рабочих условиях;

– состав газов и их взрывоопасность;

– температуру и давление газов;

– допустимость подсоса;

– характеристики источника выделения пыли:

- технологические сведения о процессе и применяемом оборудовании,

- периодичность процесса, место отсоса запыленного газа,

- конструкционные материалы;

- свойства пыли:

- распределение частиц по размерам,

- средняя и максимальная массовая концентрация,

- химический состав и содержание токсичных веществ,

- гигроскопичность и растворимость в воде,

- склонность к слипанию, взрываемость и горючесть,

- плотность,

- электризуемость,

- абразивность;

– характеристику и требования к улавливаемой пыли:

- ценность,

- возможность регенерации и возвращения в производственный цикл.

Кроме того, следует учитывать тот фактор, что концентрация пыли для разных продуктов в ходе работы может резко меняться. По литературным данным концентрация технологической пыли обычно составляет не более  $10 \text{ г/м}^3$  [9]. В гигиенических нормативах ГН: 2.1.6.696–98 представлены ориентировочные безопасные уровни воздействия (ОБУВ) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населённых мест. Для соединений лития ОБУВ на хлорид лития и карбонат лития составляют  $0,02 \text{ мг/м}^3$  и  $0,005 \text{ мг/м}^3$  соответственно [10, 11]. По данным American Medical Association (АМА), для гидроксида и пероксида лития предельно допустимая концентрация (ПДК) соответствует  $0,02 \text{ мг/м}^3$ , а максимально допустимая концентрация для аварийных ситуаций –  $0,1 \text{ мг/м}^3$  [12]. Последнее значение может быть взято в качестве критерия оценки эффективности способа очистки

воздуха рабочей зоны от пыли соединений лития с учетом последующего разбавления воздухом при выбросе в атмосферу.

## 3. Экспериментальная часть

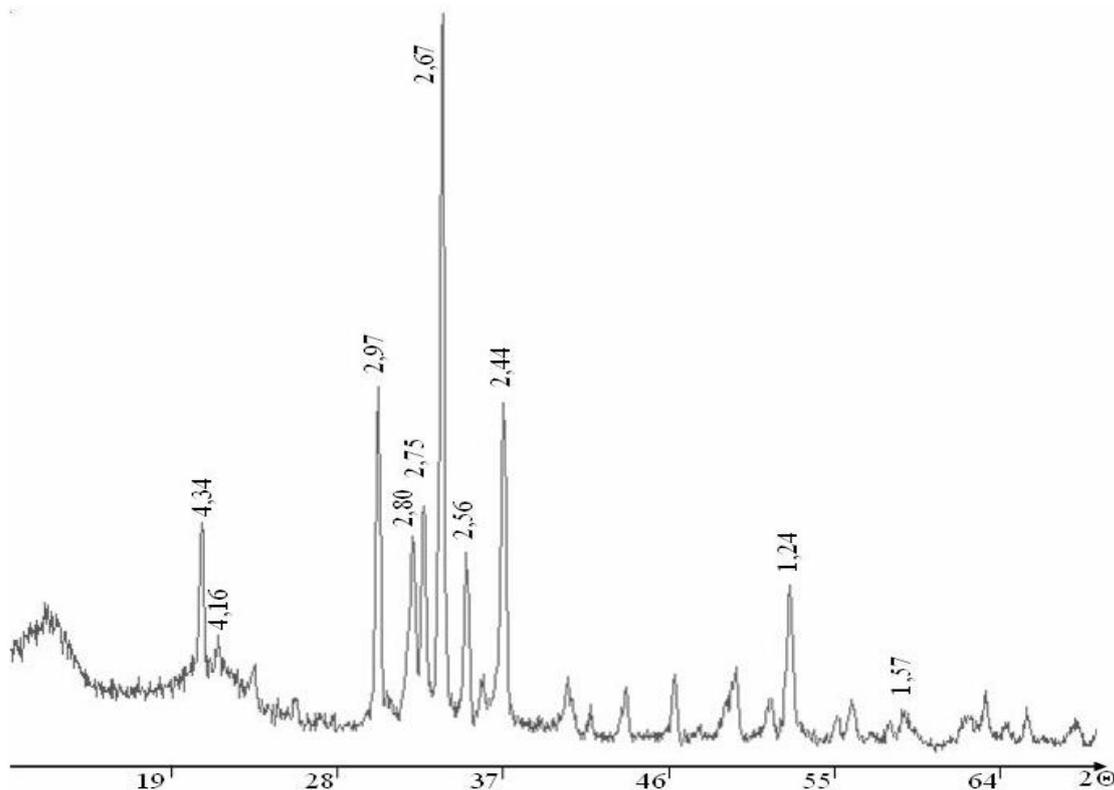
На первом этапе работы были определены основные источники выброса пыли, ее химический и дисперсионный состав, концентрация в воздухе рабочей зоны и в месте выброса в атмосферу.

Основным источником пыли соединений лития являются используемые в технологическом процессе на стадии изготовления хемосорбентов вакуум-сушильные шкафы и прессы, над которыми установлена принудительная вытяжная вентиляция, эффективно удаляющая пыль соединений лития из воздуха рабочей зоны (до значения  $0,014 \text{ мг/м}^3$ , что на 30 % меньше ПДК).

Таким образом, основная задача свелась к устранению пыли соединений лития из воздуха, выбрасываемого в атмосферу. Все последующие замеры и анализы пыли были проведены в точке выхода принудительной вентиляции за пределы рабочего корпуса.

Химический состав пыли определяли методами химического и качественного рентгенофазового анализа. Образцы, исследуемые на содержание пероксида лития, предварительно стабилизировались в насыщенном растворе борной кислоты, после чего проводили перманганатометрическое титрование [13,14]. Образцы, исследуемые на содержание LiOH, кипятились с водой в течение 15–20 мин., после чего титровались  $0,1N \text{ H}_2\text{SO}_4$  по фенолфталеину. Содержание карбоната лития определяли методом Фрезениуса [15]. Рентгенофазовый анализ проводили на дифрактометре ДРОН-6 с фильтрованным  $\text{CuK}\alpha$ -излучением ( $\lambda = 0,154051 \text{ нм}$ ): шаг сканирования составлял  $0,050$ , диапазон сканирования –  $200 \leq 2\theta \leq 1200$ , экспозиция – 3 сек. в каждой точке. На основании данных химического анализа было установлено, что пыль в воздухе рабочей зоны имеет следующий химический состав (% вес.): LiOH · H<sub>2</sub>O – 68,7 %; LiOH – 25,2 %; Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub> – 3,2 %; Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> – 3,0 %. Полученные результаты подтверждаются данными РФА – на дифрактограмме изучаемого образца (рис. 1) присутствуют дифракционные максимумы, характерные для перечисленных соединений. Рефлексы при углах скольжения  $2\theta$ , равных 33,56; 36,76 и 30,01 (межплоскостные расстояния  $d = 2,67 \text{ \AA}$ ,  $d = 2,44 \text{ \AA}$  и  $d = 2,97 \text{ \AA}$  соответственно), характерны для моногидрата гидроксида лития, рефлексы при углах скольжения 32,50 и 20,40 (межплоскостные расстояния  $d = 2,75 \text{ \AA}$  и  $d = 4,34 \text{ \AA}$  соответственно) характерны для безводного гидроксида лития, рефлексы при  $2\theta = 34,90$  и  $58,73$  (межплоскостные расстояния  $d = 2,56 \text{ \AA}$  и  $d = 1,57 \text{ \AA}$ ) – для пероксида лития, рефлексы при углах скольжения 31,87 и 21,29 (межплоскостные расстояния  $d = 2,80 \text{ \AA}$  и  $d = 4,16 \text{ \AA}$  соответственно) – для карбоната лития.





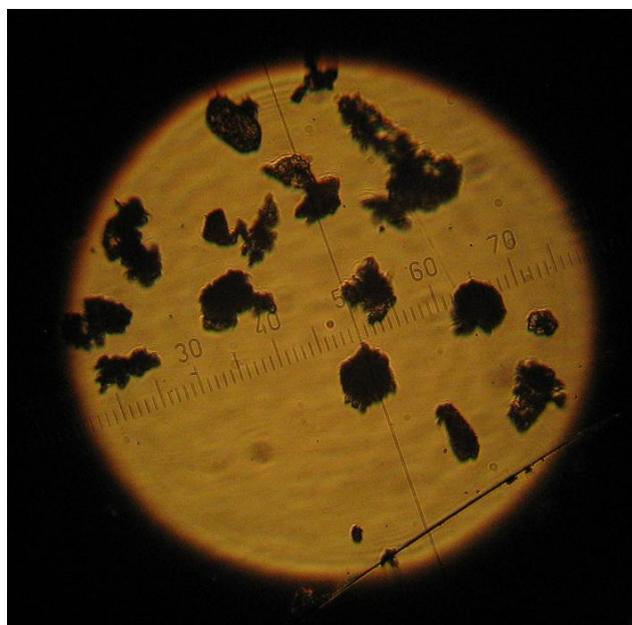
**Рис. 1** – Дифрактограмма образца пыли соединений лития, отобранной из воздуха рабочей зоны  
**Fig. 1** – Diffractogram of a sample of lithium compound dust taken from the air of the working area

Анализ показал, что основными компонентами в составе пыли являются моногидрат гидроксида лития и гидроксид лития – вещества, которые используются как основное сырье в технологических процессах и имеют достаточно высокую стоимость.

Концентрация пыли определялась согласно методическим указаниям на гравиметрическое определение пыли в воздухе рабочей зоны и в системах вентиляционных установок [16]. Было установлено, что концентрация пыли соединений лития составляет не более 4,6–6,0 мг/м<sup>3</sup> на протяжении всего технологического процесса.

Исследования дисперсности пыли рабочей зоны проводились оптическим способом на микроскопе Биолар (увеличение в 480 раз, рис. 2) и с помощью струйного сепаратора – импактора.

Последний способ основан на инерционной сепарации частиц при обтекании потоком газа плоских поверхностей и последующем определении массы частиц, осевших на этих поверхностях, и дает возможность получать результаты с высокой точностью для гигроскопичных соединений и соединений, способных вступать в химическое взаимодействие с водяным паром [17].



**Рис. 2** – Слой пыли соединений лития на стекле (фотография в проходящем свете, цена деления 6,25 мкм)  
**Fig. 2** – The dust layer of lithium joins on the glass (photo in transmitted light, the price of division 6.25 μm)

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 3.

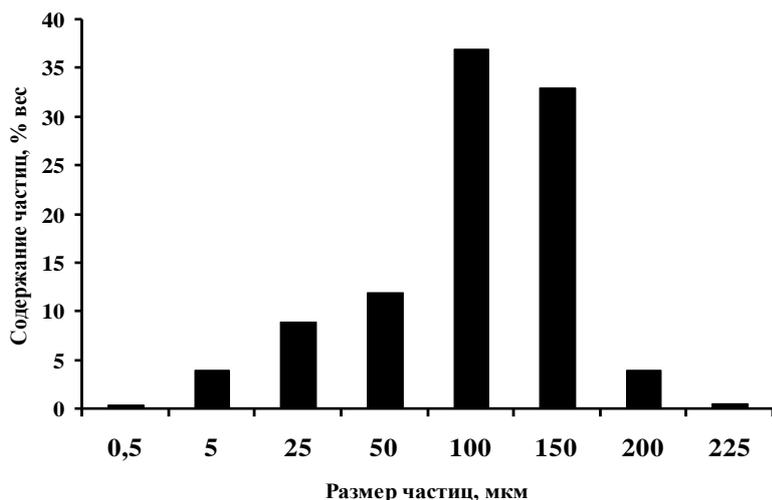


Рис. 3 – Дисперсный состав литиевой пыли  
Fig. 3 – Dispersed composition of lithium dust

В процессе определения дисперсионного состава пыли было установлено, что основную массу пыли составляют частицы значительно крупнее 10 мкм. Большая часть крупных частиц представляет собой конгломераты из более мелких, при этом средний размер конгломератов равен 100–150 мкм, доля частиц с размером 1–5 мкм – приблизительно менее 3%. Особенность данных частиц заключается в их относительной легкости (малая кажущаяся плотность), обеспечивающей им «парусность», что затрудняет процесс их удаления из воздуха рабочей зоны и последующего улавливания.

Наиболее распространенный способ очистки газовых сред от пылевидных частиц, применяемый в промышленности, – фильтрация газовой среды. Достоинством всех способов фильтрации является высокая эффективность тонкой очистки загрязненных сред и относительно низкая стоимость оборудования.

Однако проведенные предварительные эксперименты по использованию для очистки газовой среды метода фильтрации (в качестве фильтра щелочестойкая стеклобумага БМД-К из супертонкого штапельного волокна) показали, что в данном случае в течение времени эксплуатации системы наблюдается довольно резкое увеличение в составе пыли, осевшей на фильтре, содержания карбоната лития вследствие высокой гидрофильности гидроксида лития и моногидрата гидроксида лития, образование которых обусловлено протеканием следующих химических процессов (1–2):



Рост содержания карбоната лития и моногидрата гидроксида лития в пыли, осевшей на фильтре в процессе очистки газовой среды, проиллюстрирован рис. 4.

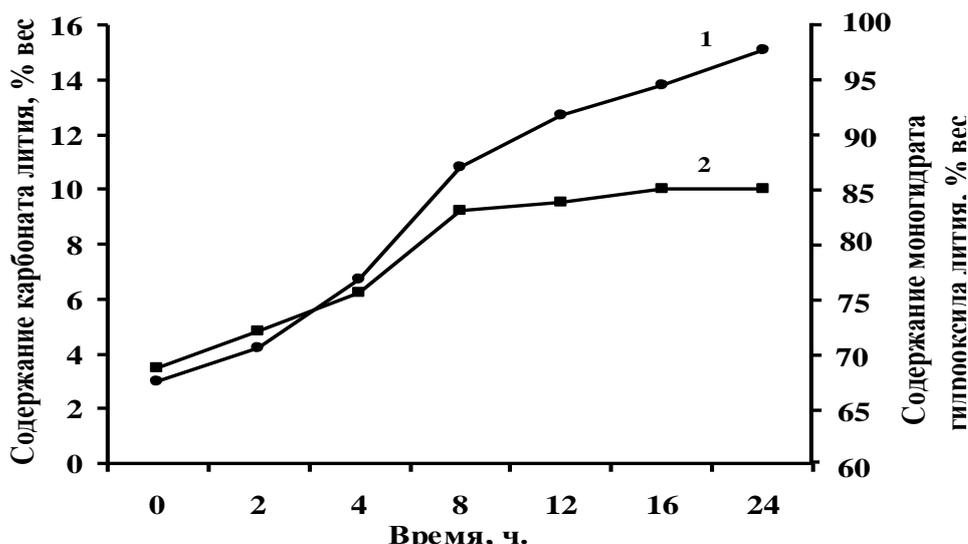


Рис. 4 – Изменение содержания в составе пыли:

1 – карбоната лития;  
2 – моногидрата гидроксида лития

Fig. 4 – Measurement of dust content:  
1 – potassium carbonate;  
2 – lithium hydroxide monohydrate

Процессы карбонизации и гидратации сопряжены с двумя негативными факторами:

– быстрой забивкой пор фильтра и увеличением аэродинамического сопротивления фильтра потоку

газа из-за образования газонепроницаемой корки  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  и  $\text{LiOH}\cdot\text{H}_2\text{O}$ ;

– невозможностью использования карбоната лития в технологических процессах предприятий, занимающихся разработкой и изготовлением систем СЖО без дополнительной обработки.

На основании проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о нецелесообразности использования фильтрующей системы улавливания пыли соединений лития из воздуха рабочей зоны промышленных предприятий.

#### 4. Результаты и их обсуждение

Полученные результаты по определению химического состава и дисперсности пыли позволяют рекомендовать для удаления пыли из рабочей зоны двухстадийную очистку: батарейный циклон и мокрую очистку воздуха (барботаж).

Установка циклонов как самостоятельной системы фильтрации целесообразна только в том случае, если концентрация пыли на выходе будет равна примерно 10 ПДК [8], то есть в данном случае  $0,2 \text{ мг/м}^3$ . При этом предполагается, что последующее разбавление выходящего из производственного корпуса воздушного потока воздухом окружающей среды на расстоянии 10 м (минимальное расстояние от точки выброса до поверхности земли) полностью решит проблему безопасности. По паспортным данным лучшие батарейные циклоны забирают более 97 % наличной пыли с размером частиц более 5 мкм, а концентрация пыли соединений лития в сбрасываемом в атмосферу воздухе не превышает  $6,0 \text{ мг/м}^3$ , следовательно, в

случае использования в качестве системы очистки батареи циклонов концентрация пыли соединений лития в сбрасываемом в атмосферу воздухе будет составлять не более  $0,18 \text{ мг/м}^3$ . Полученное значение одного порядка с 10 ПДК, то есть в качестве системы очистки допускается использование батареи циклонов.

Для выбора конкретной схемы фильтрации воздуха производственного помещения в лабораторных условиях были апробированы следующие схемы фильтрации:

- 1) серийный батарейный циклон ПКЦ-250, работающий в режиме разряжения;
- 2) серийный батарейный циклон ПКЦ-250, работающий в режиме давления;
- 3) барботаж воздушного потока через слой воды;
- 4) батарейный циклон ПКЦ-250 и последующий барботаж воздушного потока через слой воды (циклон + барботаж);
- 5) барботаж воздушного потока через слой воды, дополненный батарейным циклоном ПКЦ-250 (барботаж + циклон).

Апробация в лабораторных условиях всех перечисленных выше схем фильтрации проводилась при следующих условиях:

- начальная концентрация пыли соединений лития в воздухе  $5 \pm 0,1 \text{ мг/м}^3$ ;
- скорость движения очищаемого воздуха через систему фильтрации  $80 \pm 0,1 \text{ дм}^3/\text{мин}$ ;
- время работы системы фильтрации 5 мин.

На рис. 5 представлены данные об эффективности удаления пыли соединений лития из воздуха с помощью различных схем фильтрации.

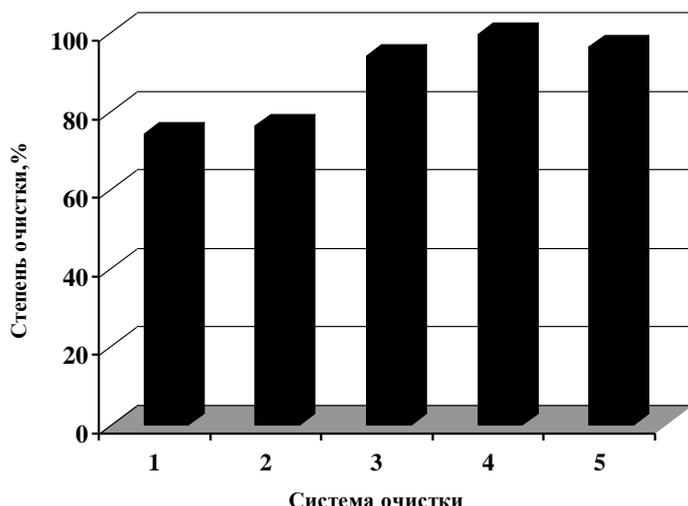


Рис 5 – Эффективность улавливания пыли соединений лития при использовании различных схем фильтрации

Fig. 5 – The efficiency of dust removal of lithium compounds by using different filtering schemes

Представленные данные показали, что лучшие результаты по очистке воздуха, поступающего непосредственно в атмосферу, от пыли соединений лития достигаются при использовании двухстадийной очистки: батарейный циклон ПКЦ-250 и последующий барботаж воздушного потока через слой воды (циклон + барботаж). Этот способ очистки обеспечивает эффективное снижение концентрации

пыли до безопасного содержания  $0,017 \text{ мг/м}^3$ , что на 15 % меньше ПДК для гидроксида и пероксида лития.

На втором этапе представленной работы оценивались возможности использования уловленной из воздуха рабочей зоны пыли соединений лития в технологическом процессе, то есть на создание экологически безопасного производственного цикла.

Исследование состава пыли химическими методами анализа и РФА показало, что в течение 8 час. химический состав пыли после ее прохождения через

циклон и пребывания в приемном бункере довольно существенно меняется (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав пыли при различном времени контакта с очищаемым воздухом

Table 1

Chemical composition of dust at different time of contact with purified air

Номер образца	Время контакта, час	Химический состав пыли, % вес				Внешний вид
		LiOH·H <sub>2</sub> O	LiOH	Li <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	
1	0	68,7	25,2	3,2	3,0	Мелкодисперсный порошок
2	2	71,4	22,4	3,1	3,1	Мелкодисперсный порошок
3	4	75,2	18,4	2,9	3,5	Мелкодисперсный порошок
4	8	81,9	10,1	2,6	5,4	Мелкодисперсный порошок
5	16	84,3	1,6	1,4	12,7	Слипшиеся комки

Из приведенных данных следует, что через 8 час. (рабочая смена) после очистки с помощью циклона в составе пыли содержание моногидрата гидроксида лития увеличивается с 68,7 % вес. до 84,3 % вес. и карбоната лития – с 3,0 % вес. до 5,4 % вес. При этом пыль суммарно содержит до 92 % смеси моногидрата гидроксида лития и гидроксида лития. Продукт данного химического состава может быть использован в качестве исходного сырья для производства пероксида лития. Увеличение времени нахождения пыли в бункере до 16 час. (две рабочие смены) после очистки с помощью циклона ведет к росту содержания карбоната лития до 12,7 % и делает продукт непригодным для использования в производственном цикле без дополнительной обработки.

После 24 час. барботажной предварительной очистки через слой воды с помощью циклона воздуха, в барботажной емкости образовалась система из двух фаз: насыщенный раствор гидроксида лития (жидкая фаза) и смесь моногидрата гидроксида лития (96,7 % вес.) с карбонатом лития (3,3 % вес.) (твердая фаза). Использование как жидкой, так и твердой фазы указанных составов допустимо в технологическом процессе синтеза Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Объем воды, через который осуществлялся барботаж, рассчитывался таким образом, чтобы после 24 час. непрерывной работы очистительной системы жидкая фаза представляла собой насыщенный раствор гидроксида лития.

Для проверки предположения о возможности использования пыли соединений лития в производственном цикле после ее улавливания с помощью циклона и барботажа был проведен синтез пероксида лития, где выделенные из воздуха соединения лития использовались в качестве исходных компонентов. При использовании в качестве исходных компонентов твердых остатков, отделенных с помощью циклона и барботажа, синтез пероксида лития проводили по способу [18–22], основанному на взаимодействии моногидрата гидроксида лития (или гидроксида лития) и пероксида водорода при мольном соотношении LiOH/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 0,78÷1,86, температуре реакционной смеси не выше 310 °С и последующей дегидратации полученной суспензии в поле сверхвысокой частоты. При использовании в технологическом цикле получения Li<sub>2</sub>O<sub>2</sub> насыщенного раствора гидроксида лития, образовавшегося на стадии барботажа, в качестве исходного компонента применялся не твердый моногидрат гидроксида лития, а суспензия, содержащая до 40 % вес. воды, приготовленная путем добавления к насыщенному раствору гидроксида лития безводного LiOH.

Составы пероксида лития, полученного с помощью различной пыли литиевых соединений, выделенной из воздуха рабочей зоны, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Состав конечного продукта при использовании в качестве исходного сырья различной пыли литиевых соединений

Table 2

The composition of the final product when used as a feedstock of various dust lithium compounds

Номер эксперимента	Исходное сырье	Состав продукта синтеза, % вес.			
		Li <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	LiOH	Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O
1	№ 2 из табл. 1	92,5	2,6	4,0	0,9
2	№ 4 из табл. 1	91,3	2,4	5,5	0,8
3	№ 5 из табл. 1	81,2	3,6	13,9	1,3
4	Твердая фаза со стадии барботажа	93,3	2,7	3,2	0,8
5	Жидкая фаза со стадии барботажа	93,0	2,5	3,6	0,9

Как видно из представленных данных, использование в качестве исходного сырья пыли соединений лития, собранной с помощью циклона из воздуха рабочей зоны в течение 8 час., позволяет получать конечный продукт (пероксид лития) с содержанием основного вещества до 91,3 % вес. (№ 2 из табл. 2). Увеличение времени нахождения пыли в приемном бункере до 16 час. (две рабочие смены) ведет к сни-

жению содержания основного вещества в продукте синтеза до 81,2 %. Использование как жидкой, так и твердой фазы, содержащей соединения лития, полученных на стадии барботаж за 24 час., позволяет получать конечный продукт с содержанием основного вещества до 93,3 % вес., что подтверждено методами химического и качественного рентгенофазового анализа (рис 6).

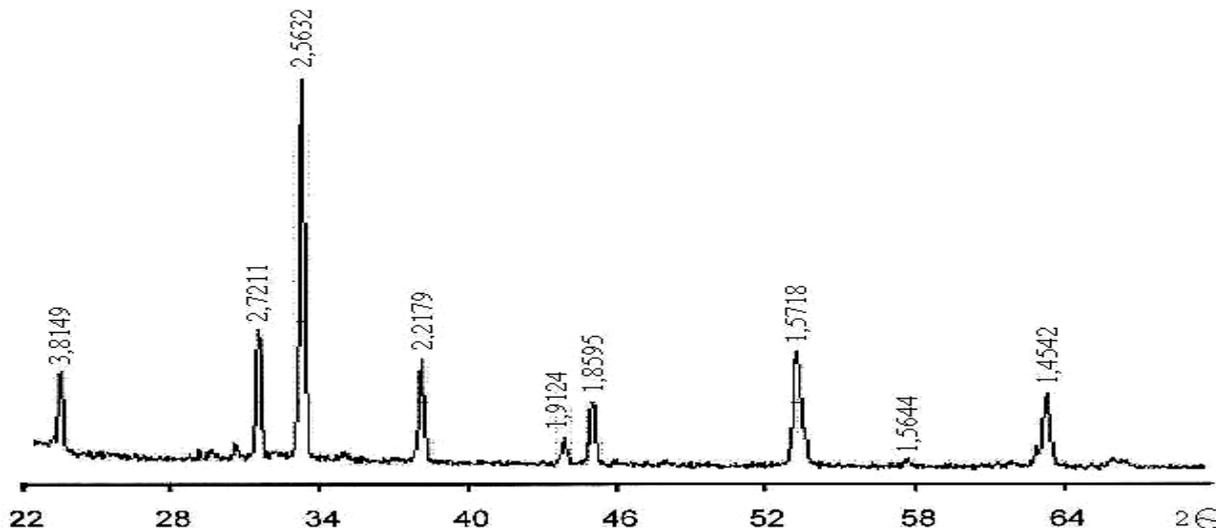


Рис. 6. – Дифрактограмма полученного пероксида лития (образец № 4 из табл. 2)  
 Fig. 6 – The diffraction pattern of the obtained lithium peroxide (sample № 4 of table 2)

Предложенная схема удаления пыли соединений лития и последующее возвращение пыли в производственный цикл может применяться при разработке исходных данных для проектирования экологически чистой технологии производства пероксида лития.

### 5. Заключение

Предложенная система очистки, состоящая из батарейного циклона ПКЦ-250 и последующего барботажа воздушного потока через слой воды, позволяет снижать концентрацию пыли до 0,017 мг/м<sup>3</sup>, что на 15 % меньше ПДК для гидроксида и пероксида лития.

Извлеченная из воздуха рабочей зоны пыль соединений лития может быть использована в технологическом цикле синтеза пероксида лития, при этом можно получить конечный продукт с содержанием основного вещества до 93,3 % вес.

Предложенная схема удаления пыли соединений лития и ее последующее возвращение в производственный цикл может быть использована при разработке исходных данных по проектированию экологически чистой технологии производства пероксида лития для систем защиты органов дыхания человека от поражающих факторов химической и биологической природы.

### Список литературы

- [1] Воронин, Г.И. Жизнеобеспечение экипажей космических кораблей / Г.И. Воронин, А.И. Поливода. – М.: Машиностроение. – 1967. – С. 36.
- [2] Petroctlli, A. Some notes on the use of superoxides in regenerative air system / A. Petroctlli, A. Capolesto // *Aerospace Med.* –1964. – Vol. 31. – P. 440.
- [3] Presti, J. Superoxide life support system for submarines / J. Presti, H. Wallman, A. Petroctlli // *Undersea Technol.* –1967. – Vol. 8. – P.20.
- [4] Вредные вещества в промышленности / Под редакцией Н.В. Лазарева. – М.: Химия, 1977. – Т. 3. – С. 321.
- [5] Франке, З. Химия отравляющих веществ / З. Франке. – М.: Химия, 1973. – Т. 1. – С. 411.
- [6] Копытов, Ю.Ф. Защита окружающей среды от пыли соединений лития / Ю.Ф. Копытов, Н.А. Булаев, Л.Л. Ферапонтова // *Материалы Всероссийского научного конгресса «Фундаментальная наука – ресурс сохранения здоровья здоровых людей».* – Тамбов, РАН. 2008. – С. 101–103.
- [7] Ужов, В.Н. Очистка промышленных газов от пыли / В.Н. Ужов [и др.]. – М.: Наука. 1981. – С. 423.
- [8] Коузов, П.А. Очистка от пыли газов и воздуха в химической промышленности / П.А. Коузов, А.Д. Мальгин, Г.М. Скрыбин. – Л.: Химия, 1982. – С. 267.
- [9] Родионов, А.И. Оборудование, сооружения, основы проектирования химико-технологических



процессов защиты биосферы от промышленных выбросов / А.И. Родионов [и др.]. – М.: Химия. 1985. 432 с.

[10] Израэльсон, З.И. Вопросы гигиены труда и профессиональной патологии при работе с редкими металлами / З.И. Израэльсон, О.Я. Могилевская, С.В. Суворов. – М.: Медицина, 1973. – 303 с.

[11] Smith, N.W. Lithium hydroxide / N.W. Smith, W.L. Walkenhorst // Amer. Ind. Hyg. Assoc. J. – 1964. – Vol. 25. – No. 4. – P. 424–426.

[12] Williams, R.F. Threshold Limit Values / R.F. Williams // American Conference of Governmental Industrial Hygienists. – 1974. – P. 94–99.

[13] Брунере В.Я., Докучаева А.Н. Определение кислорода в перекисных соединениях / В.Я. Брунере, А.Н. Докучаева // Изв. АН Латв. ССР. Сер. хим. – 1990. – № 6. – С. 693.

[14] Seyb E., Kleinberg J. Determination of superoxide oxygen / E. Seyb, J. Kleinberg // J. Am. Chem. Soc. – 1951. – Vol. 73. – P. 2308.

[15] Алексеевский, Г.В. Количественный анализ / Г.В. Алексеевский, Р.К. Гольц, А.А. Мусакин. – М.: Госхимиздат, 1955. – 558 с.

[16] Методические указания на определение вредных веществ в воздухе. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. – С. 235–239.

[17] Ферапонтов, Ю.А. Оценка дисперсного состава перекисных соединений щелочных металлов / Ю.А. Ферапонтов, М.А. Ульянова, Д.В. Жданов // Химическая технология. – 2008. – Т. 9. – № 1. – С. 1–6.

[18] Ферапонтов, Ю.А. Получение пероксида лития в поле сверхвысокой частоты / Ю.А. Ферапонтов, М.А. Ульянова, Т.В. Сажнева // Химическая технология. – 2007. – Т. 8. – № 5. – С. 193–196.

[19] Пат. РФ № 2322387. МПК C01B 15/043. Способ получения пероксида лития / Ю.А. Ферапонтов, М.А. Ульянова, Т.В. Сажнева // Опубл. 2008.

[20] Ферапонтов Ю.А., Ульянова М.А., Сажнева Т.В. Условия кристаллизации  $\text{Li}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  в тройной системе  $\text{LiOH} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$  / Ю.А. Ферапонтов, М.А. Ульянова, Т.В. Сажнева // ЖНХ. – 2008. – Т. 53. – Вып. 10. – С. 1749–1754.

[21] Nefedov, R. Kinetics of Lithium Peroxide Monohydrate Thermal Decomposition / R. Nefedov, N. Posternak, Yu. Ferapontov // AIP Conference Proceedings, 2017. – Vol. 1899. – Iss. 1. – P. 020013-1–020013-6.

[22] Nefedov, R. Synthesis of Lithium Peroxide from Hydrogen Peroxide and Lithium Hydroxide in Aqueous-Organic Medium: Wasteless Technology / R. Nefedov, Y. Ferapontov // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 96. – Article no. 00004.

## References

[1] Voronin G.I., Polivoda A.I. Life support for spacecraft crews (Zhizneobespechenie ekipazhei kosmicheskikh korabli). – Moscow: Mechanical Engineering, 1967; p. 36 (in Russ.).

[2] Petroctlli A., Capolesto A. Some notes on the use of superoxides in the regenerative air system. *Aerospase Med.*, 1964;31:440 (in Eng.).

[3] Presti J., Wallman H., Petroctlli A. Superoxide life support system for submersibles. *Undersea Technol.*, 1967;8:20 (in Eng.).

[4] Harmful substances in industry (Vredny`e veshchestva v promy`shlennosti). Edited by Lazarev N.V. Moscow: Chemistry Publ., 1977, vol. 3, p. 321 (in Russ.).

[5] Franke Z. Chemistry of toxic substances (Himiia otravlyayushchikh veshchestv). Moscow: Chemistry Publ., 1973, vol. 1, p. 411 (in Russ.).

[6] Kopytov Yu. F., Bulaev N. A., Ferapontova L. L. Protection of the environment from lithium dust (Zashchita okruzhayushchei sredy ot pyli soedinenii litii). Proceedings of the All-Russian Scientific Congress “Fundamental science - a resource for preserving the health of healthy people”. Tambov, RAS Publ., 2008; p. 101–103 (in Russ.).

[7] Uzhov V.N., Waldberg A.Yu., Myagkov B.I., Reshidov I.K. Purification of industrial gases from dust (Ochistka promyshlennykh gazov ot pyli). Moscow: Science, 1981; p. 423 (in Russ.).

[8] Kouzov P.A., Malgin A.D., Scriabin G.M. Cleaning from dust gases and air in the chemical industry (Ochistka ot pyli gazov i vozduha v himicheskoi promyshlennosti.) Leningrad: Chemistry Publ., 1982; p. 267 (in Russ.).

[9] Rodionov A.I., Kuznetsov Yu.P., Zenkov V.V., Soloviev G.S. Equipment, facilities, fundamentals of designing chemical and technological processes for protecting the biosphere from industrial emissions (Oborudovanie, sooruzheniya, osnovy proektirovaniya himiko – tekhnologicheskikh protsessov zashchity biosfery ot promyshlennykh vybrosov). Moscow: Chemistry Publ., 1985; 432 p. (in Russ.).

[10] Izraelson Z.I., Mogilevskaya O. Ya., Suvorov S. V. Issues of occupational health and occupational pathology when working with rare metals (Voprosy gigieny truda i professionalnoi patologii pri rabote s redkimi metallami). Moscow: Medicine Publ., 1973; 303 p. (in Russ.).

[11] Smith N.W., Walkenhorst W.L. Lithium hydroxide. *Amer. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1964;25(4):424–426.

[12] Williams R.F. Threshold Limit Values. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. N.Y., 1974; pp. 94–99 (in Eng.).

[13] Brunere V.Ya., Dokuchaeva A.N. Determination of oxygen in peroxide compounds (Opredelenie kisloroda v perekisny`kh soedineniiakh). *Izv. AN Latv. SSR. Ser. Chemical*, 1990, no. 6, p. 693 (in Russ.).

[14] Seyb E., Kleinberg J. Determination of superoxide oxygen. *J. Am. Chem. Soc.*, 1951;73:2308.

[15] Alekseevskiy G.V., Golts R.K., Musakin A.A. Quantitative analysis (Kolichestvennyi analiz). Moscow: Goskhimizdat Publ., 1955; 558 p. (in Russ.).

[16] Guidelines for the determination of harmful substances in the air (Metodicheskie ukazaniya na opredele-



nie vrednykh veshchestv v vozdukh). Moscow: TSRIA "Morflot" Publ., 1981; pp. 235–239 (in Russ.).

[17] Ferapontov Yu.A., Ulyanova M.A., Zhdanov D.V. Evaluation of the dispersed composition of peroxide compounds of alkali metals (Otsenka dispersnogo sostava perekisnykh soedinenii shchelochnykh metallov). *Chemical Technology*, 2008;9(1):1–6 (in Russ.).

[18] Ferapontov Yu.A., Ulyanova M.A., Sazhneva T.V. Obtaining lithium peroxide in a field of ultrahigh frequency (Poluchenie peroksida litiya v pole sverkhvysokoi chastoty). *Chemical Technology*, 2007;8(5):193–196 (in Russ.).

[19] Ferapontov Yu.A., Ulyanova M.A., Sazhneva T.V. Pat. Of the Russian Federation No. 2322387. IPC S01B 15/043. The method of obtaining lithium peroxide (Sposob polucheniya peroksida litiya. Publ. 2008 (in Russ.).

[20] Ferapontov Yu.A., Ulyanova M.A., Sazhneva T.V. Crystallization conditions for  $\text{Li}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  in the ternary system  $\text{LiOH} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$  (Usloviya kristallizatsii  $\text{Li}_2\text{O}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  v troinoi sisteme  $\text{LiOH} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$ ). *WNH*, 2008;53(10):1749–1754 (in Russ.).

[21] Nefedov R., Posternak N., Ferapontov Yu. Kinetics of Lithium Peroxide Monohydrate Thermal Decomposition. *AIP Conference Proceedings*, 2017;1899(1):020013-1–020013-6 (in Eng.).

[22] Nefedov R., Ferapontov Y. Synthesis of Lithium Peroxide from Hydrogen Peroxide and Lithium Hydroxide in Aqueous-Organic Medium: Wasteless Technology. *MATEC Web of Conferences*, 2017;96:Article Number 00004 (in Eng.)

Транслитерация по BSI



Offshore wind vessels' market has been constantly changing, facing new challenges and taking new opportunities. With the development of digital technology, an emphasis put on environment and sustainability, and requirements of designing bigger and better wind turbines, offshore vessels' operators and owners need to adjust themselves to the market and keep up with current trends and demands.

ACI's 6<sup>th</sup> edition of Operating Specialist Wind Vessels Summit will bring together senior executives and experts from ship owners, ship operators, wind turbines' manufacturers, naval architects, and technology companies, market analysts, among others, to discuss the latest innovations, challenges and developments within the offshore wind industry.

The two days event will give you an insight into the development of non-established markets, a demand on bigger wind turbines and requirement of bigger installation vessels, digitalization, environmental standards, crew maintenance and many more.

#### Key Topics 2019 Include

- Responding To Today's Challenges Within The Wind Vessels' Market: Focusing On The Global Overview Of New Trends And New Markets
- Evaluating The Contracting Principles Within The Wind Vessels' Market
- Focusing On Offshore Installation Vessels And Challenges Faced By The Wind Vessels' Operators
- Elaborating On Transfer Systems And Predictability Of Services
- Assessing The Future Requirements And Maintenance Of Wind Turbines
- Elaborating On The Crew Maintenance And Training In The View Of Wind Vessels' Demand
- Wind Vessels' Design In Cybersecurity And Digital Context
- Analysing The Environmental Standards Within The Wind Vessels' Operations
- Analysing Future Investments And Evaluating The Ways Of Financing The Offshore Vessels' Operations
- Deliberating On Renewable Projects And The Future Of Wind Vessels' Market

[www.wplgroup.com/aci/event/operating-wind-vessels-summit/](http://www.wplgroup.com/aci/event/operating-wind-vessels-summit/)