

НОВЫЙ ПОДХОД К РЕГЕНЕРАЦИИ ВОЗДУХА В ГЕРМЕТИЧНЫХ ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТАХ

**С.И. Дворецкий, Н.Ф. Гладышев, Т.В. Гладышева,
Ю.А. Суворова, М.Ю. Плотников**

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»; ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор В.Г. Матвейкин

Ключевые слова и фразы: гидроксид кальция; регенерация воздуха; регенеративный продукт.

Аннотация: Предложена конструкция средства защиты коллективного типа органов дыхания человека со сниженными массогабаритными характеристиками, предназначенного для регенерации воздуха в герметичных объектах. Исследована возможность использования известковых хемосорбентов, восстановленных после карбонизации, для удаления диоксида углерода в герметичных объектах при отсутствии энергии.

Регенерация воздуха в герметичных обитаемых объектах – сложный физико-химический процесс, который можно разделить на несколько основных параллельных технологических процессов [1]:

– удаление получаемого в результате дыхания человека диоксида углерода;

– поддержание концентрации кислорода на комфортном для дыхания человека уровне.

Удаление диоксида углерода из воздуха осуществляют:

– с использованием расходуемых химических и регенерируемых поглотителей;

– электрохимическими методами;

– методом криогенного вымораживания.

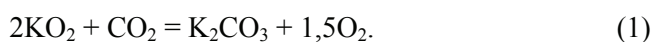
Поддержание концентрации кислорода осуществляют:

Дворецкий Станислав Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии продовольственных продуктов», проректор по научно-инновационной работе, ТамбГТУ; Гладышев Николай Федорович – кандидат химических наук, начальник отдела химии и новых химических технологий, ОАО «Корпорация «Росхимзащита»; Гладышева Тамара Викторовна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ОАО «Корпорация «Росхимзащита»; Плотников Михаил Юрьевич – аспирант кафедры «Технологии продовольственных продуктов», e-mail: miketambov@gmail.com; Суворова Юлия Александровна – магистрант кафедры «Технологические процессы и аппараты», ТамбГТУ, г. Тамбов.

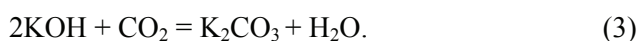
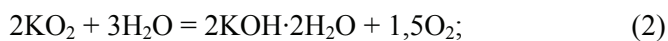
- с использованием сжатого кислорода из баллонов;
- с помощью химически связанного кислорода;
- на основе процесса электрохимического разложения воды;
- с использованием твердых источников кислорода.

Таким образом, типичная система регенерации состоит из генератора кислорода, поглотителя диоксида углерода и средства контроля химического состава регенерируемого воздуха. Решение задачи регенерации воздуха в герметичном объеме, в таком как убежища, отсеки подводной лодки или транспортных средств с применением разрозненного оборудования не всегда оправдано. Неисправность газоанализатора по кислороду на атомной подводной лодке «Комсомолец» (концентрация кислорода в отсеке была порядка 30 %) была предпосылкой к созданию аварийной ситуации, а также способствовала быстрому распространению пожара по отсеку [2]. В настоящее время удовлетворительного решения проблемы поддержания необходимой концентрации кислорода на подводных лодках не существует. Например, регенерационные двухъярусные установки РДУ (В-64), как коллективные системы, имеют массу очевидных недостатков, таких как пожароопасность, большой объем занимаемого пространства. Поэтому целесообразной представляется разработка средства регенерации воздуха в виде единого комплекса, в котором возможно осуществление всех необходимых процессов для поддержания комфортного для дыхания человека химического состава воздуха, а также осуществлена процедура контроля работы системы без использования технически сложных средств.

Из всего многообразия способов удаления диоксида углерода и поддержания концентрации кислорода наиболее перспективным методом для герметичных объектов является процесс на основе хемосорбции с использованием надпероксидов щелочных металлов. Процесс взаимодействия диоксида углерода и влаги воздуха с надпероксидом калия описывается общим уравнением



При этом первичным актом в процессе регенерации является образование гидроокиси калия и ее гидратов, а вторичным – образование карбоната калия по уравнениям:



Авторами [3, 4] разработан регенеративный продукт РПК-ПП, представляющий собой пористую пластину из стекловолоконистого материала с закрепленным на волокнах наноструктурированным надпероксидом калия.

Регенеративный продукт РПК-ПП характеризуется большой развернутой поверхностью, доступной для хемосорбции диоксида углерода, меньшей степенью появления локальных перегревов продукта, при этом снижается диффузионное сопротивление проникновению паров воды и диоксида углерода во внутренние слои регенеративной пластины, меньшей пожароопасностью [5].

На основе регенеративного продукта РПК-ПП авторами [6] разработан блок химической регенерации воздуха (БХРВ).

Блок химической регенерации воздуха выполнен в виде полого патрона из фторопластовой пленки Ф-4МБ в форме двух рукавов, соединенных коллектором со штуцером для подачи газовой смеси (ГВС), сверху патрон открыт и сообщается с окружающей средой. Пластины регенеративного продукта закреплены в силовых лентах, ГВС в систему регенерации подается с помощью электровентильатора. От механических повреждений и теплового воздействия патрон снабжен защитным кожухом из негорючей ткани типа Nomex.

В состоянии «ожидания» БХРВ компактно упакован. При применении он легко разворачивается и крепится на стойке. Время приведения в действие составляет менее 5 мин.

На рисунке 1 представлен блок химической регенерации воздуха при хранении и в рабочем положении.

Результаты испытаний БХРВ графически представлены на рис. 2, где показано изменение концентраций соответственно диоксида углерода и кислорода в герметичном объеме испытательной камеры.

По экспериментальным данным были рассчитаны средние скорости поглощения и выделения кислорода, равные 1,17 и 1,51 $\text{дм}^3/\text{мин}$ соответственно. Согласно профилю зависимости концентрации диоксида углерода от времени можно сделать вывод, что скорость поглощения остается примерно на одном уровне. Скорость выделения кислорода соответствует потребности в кислороде четверых человек, что исключает закислораживание герметичного объема. Время защитного действия, в среднем, составляет 305 мин.

Важно отметить, что концентрация кислорода за все время прохождения опыта находилась в пределах от 19 до 21 %, что является нормой содержания кислорода в окружающей среде обитаемого объекта. Таким образом, контроль за химическим составом воздуха по диоксиду углерода и кислороду при применении БХРВ не обязателен.

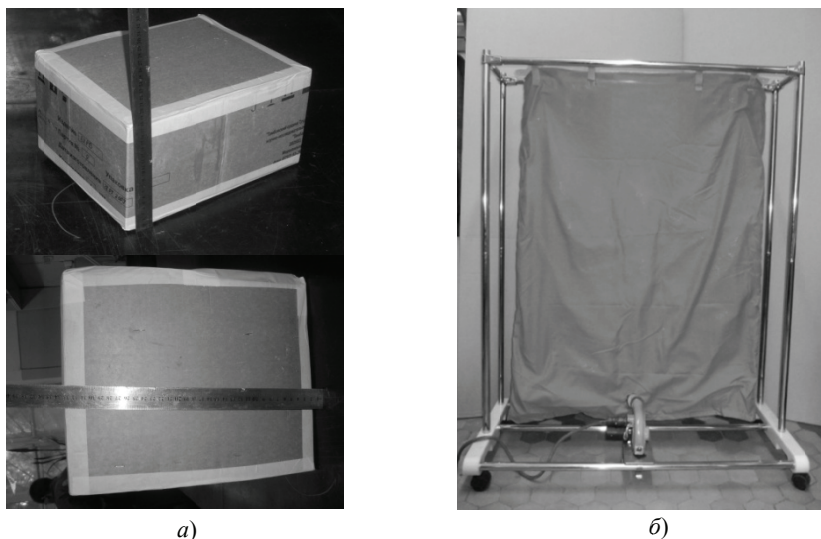
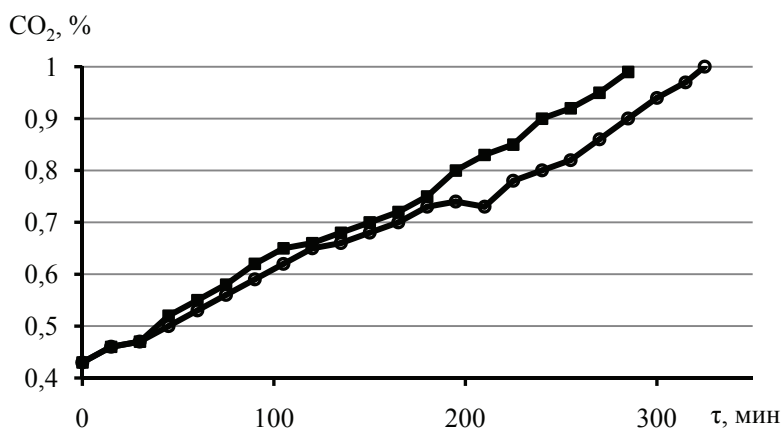
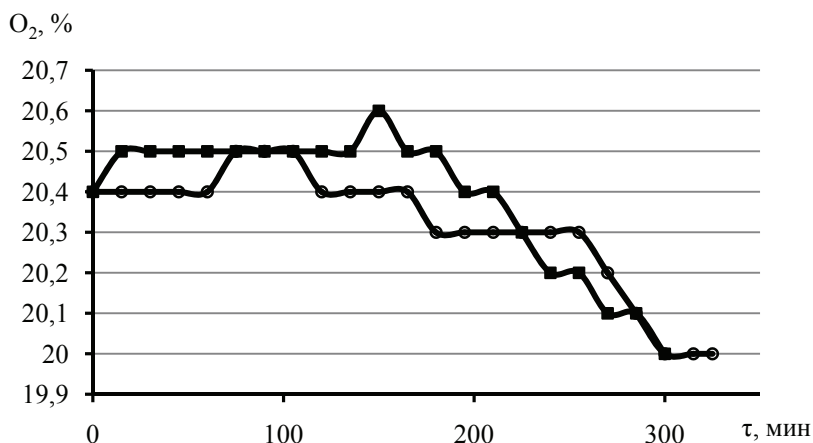


Рис. 1. Блок химической регенерации воздуха:
а – в упаковке; б – в рабочем положении



а)



б)

Рис. 2. Результаты испытаний БХРВ:

а – зависимость концентрации CO₂ от времени опыта;
 б – зависимость концентрации O₂ от времени опыта; —○— – опыт 1; —■— – опыт 2

Процесс удаления диоксида углерода из атмосферы герметичного обитаемого объекта является одной из важнейших задач для поддержания жизнедеятельности людей, находящихся в этом объекте. В настоящее время для удаления CO₂ используются установки, требующие наличие на объекте достаточной энергии. В [7] предложен хемосорбент ХЭЛП-ИК (химический эластичный листовый поглотитель известково-калиевый) для удаления CO₂ из объекта, на котором отсутствует энергообеспечение. Представленные в работе [7] данные по новому материалу позволяют сделать вывод о возможности использования хемосорбента ХЭЛП-ИК для эффективного удаления CO₂:

- при больших и малых удельных объемах, приходящихся на одного защищаемого в герметичном объекте;
- при больших и малых нагрузках по CO₂;

- при относительно низких температурах и низкой относительной влажности воздуха;
- в условиях гипербарии;
- в условиях отсутствия энергии на объекте.

В мире производится тысячи тонн поглотителей CO_2 на основе гидроксида кальция, поэтому представляет интерес производство ХЭЛП-ИК, как продукта утилизации отработанного поглотителя.

В лабораторных условиях получение ХЭЛП-ИК из карбонизованных известковых хемосорбентов осуществлялось двумя способами:

- термоллизом карбонизованных поглотителей с последующей гидратацией (*далее* – гашением) продукта термоллиза;
- растворением карбонизованных поглотителей соляной кислотой с последующим осаждением из раствора при добавлении гидроксид-ионов OH^- , выделением осадка фильтрацией, промывкой и сушкой.

Получение гидроксида кальция из карбонизованного листового хемосорбента ХЭЛП-ИК осложнялось тем, что данный продукт представлял собой смесь химических веществ, а именно карбоната кальция, гидроксида кальция, щелочи и полимера.

Основные технологические операции получения гидроксида кальция из карбонизованного хемосорбента термоллизом: термическое разложение $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2\uparrow$, $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$; измельчение CaO ; гидратация CaO ; изготовление известкового поглотителя из Ca(OH)_2 .

Полноту обжига оценивали по потерям массы при прокаливании и сравнением их значений с расчетной величиной и по остаточному содержанию CO_2 .

Остывший продукт термоллиза (оксид кальция) измельчали в лабораторной барабанной шаровой мельнице. Размер частиц после помола составлял 0,025...0,07 мм; насыпная плотность 1,30...1,36 г/см³.

Гашение проводили при различных температурах (рис. 3).

Как видно из рис. 4, с увеличением температуры воды, используемой для гашения, уменьшалось время реакции, и увеличивался выход продукта.

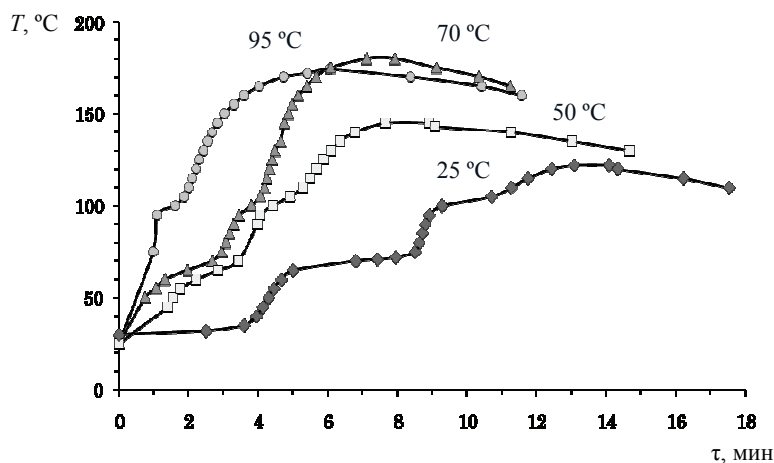


Рис. 3. Зависимость времени реакции гашения от температуры воды

Процесс растворения карбонатных материалов в соляной кислоте используется для получения ценного сырья химической промышленности – хлорида кальция. При добавлении ионов OH^- в полученный раствор происходит осаждение гидроксида кальция.

Основные технологические операции получения гидроксида кальция из карбонизованного хемосорбента растворением в соляной кислоте: проведение реакции $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$; фильтрование раствора CaCl_2 ; осаждение $\text{Ca}(\text{OH})_2$; разделение $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и раствора KCl фильтрацией; сушка и измельчение осадка $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Были проведены исследования дисперсионного состава гидроксида кальция, полученного двумя методами.

Для образца $\text{Ca}(\text{OH})_2$ от завода-изготовителя пик распределения более сглажен и наибольшее число частиц находится в достаточно широком интервале размеров. У образцов, полученных обжигом при первом и втором циклах регенерации, пики совпадают и около 59 % частиц лежит в более узком интервале распределения по сравнению с образцом от завода-изготовителя. К тому же эти пики смещены в сторону более мелких частиц. Таким образом, полученные образцы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ более однородны. Некоторое количество частиц образца, полученного осаждением из раствора, приходящихся на пик распределения, имеют диаметр меньше, чем диаметр частиц образцов, полученных обжигом. Однако у образца, полученного осаждением из раствора, имеется второй пик распределения, в области более крупных частиц. Присутствие слипшихся агломератов делает их гранулометрический анализ неоднородным.

Из образцов $\text{Ca}(\text{OH})_2$, полученных по двум способам, был изготовлен известковый поглотитель ХЭЛП-ИК по технологии, описанной в работе [8].

Хемосорбент, полученный из вторичного сырья, по поглотительной активности CO_2 не уступает образцам, полученным из сырья от завода-изготовителя при испытаниях в герметично замкнутой камере.

Список литературы

1. Путин, С.Б. Математическое моделирование и управление процессом регенерации воздуха / С.Б. Путин. – М. : Машиностроение, 2008. – 176 с.

2. Романов, Д.А. Трагедия подводной лодки «Комсомолец»: Аргументы конструктора / Д.А. Романов. – 2-е, изд. доп. – СПб. : Изд-во Рус. христианс. гуманит. ин-та, 1995. – 256 с.

3. Пат. 2225241 Российская Федерация, МПК А 62 D 9/00. Регенеративный продукт и способ его получения / Гладышева Т.В., Гладышев Н.Ф., Глебова О.Н., Путин Б.В., Андреев В.П. ; заявитель и патентообладатель ФГУП «Тамб. науч.-исслед. хим. ин-т». – № 2002132800/15 ; заявл. 05.12.2002 ; опубли. 10.03.2004. – Бюл. № 7. – 2 с.

4. Разработка технологии и аппаратурного оформления производства регенеративных продуктов нового поколения / Н.Ф. Гладышев [и др.]. – М. : Машиностроение, 2007. – 85 с.

5. Изучение поведения супероксидов К, Na и Ca в контакте с органическими веществами и угольной пылью при нагревании / Т.В. Гладышева [и др.] // Пожары и окружающая среда : мат. XVII Междунар. науч.-практ. конф. / МЧС России. – М., 2002.

6. Пат. 2401145 Российская Федерация, МПК А62В11/00. Устройство для регенерации воздуха / Гладышев Н.Ф., Гладышева Т.В., Дорохов Р.В., Козадаев Л.Э., Мавлютова О.С., Путин Б.В., Путин С.Б., Симаненков Э.И. ; заявитель и патентообладатель ОАО «Корпорация «Росхимзащита». – № 2009133882/12 ; заявл. 09.09.2009 ; опубл. 10.10.2010.

7. Поглотитель диоксида углерода на эластичной подложке / Н.Ф. Гладышев [и др.] [Электронный ресурс] // Системы жизнеобеспечения как средство освоения человеком дальнего космоса : тез. докл. Междунар. конф. 24–27 сент. 2008 г. / Научный совет РАН по физиологическим наукам ; ГНЦ РФ Институт медико-биологических проблем РАН ; ГНЦ РФ ИМБП РАН. – М., 2008. – Режим доступа : http://www.imbp.ru/WebPages/WIN1251/Conference/confer_r.html. – Загл. с экрана.

8. Известковые поглотители нового поколения / Н.Ф. Гладышев [и др.] – М. : СПЕКТР, 2012. – 135 с.

A New Approach to Air Regeneration in Sealed Manned Installations

**S.I. Dvoretzky, N.F. Gladyshev, T.V. Gladysheva,
Yu.A. Suvorova, M.Yu. Plotnikov**

*Tambov State Technical University;
ОАО «Corporation «Roshimzashchita», Tambov*

Key words and phrases: air regeneration; calcium hydroxide; regenerative product.

Abstract: The design of collective respiratory protective means with reduced mass and overall characteristics used for air regeneration in sealed installations is proposed. The possibility of using the calcareous chemisorbents regenerated after carbonization for carbondioxide removal in sealed installations in case of energy absence has been investigated.

© С.И. Дворецкий, Н.Ф. Гладышев, Т.В. Гладышева,
Ю.А. Суворова, М.Ю. Плотников, 2012