

## ПРИМЕНЕНИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ХЕМОСОРБЕНТОВ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА В ОБИТАЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ

**С.И. Дворецкий, Н.Ф. Гладышев, М.Н. Краснянский,  
В.П. Таров, В.Е. Галыгин**

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

*Рецензент д-р техн. наук, профессор Н.Ц. Гапанова*

**Ключевые слова и фразы:** герметичный объект; диоксид углерода; наноструктурирование; очистка воздуха; хемосорбент; эластичная подложка.

**Аннотация:** Представлены материалы по применению наноструктурированных хемосорбентов для удаления диоксида углерода в обитаемых космических объектах. Показаны преимущества использования хемосорбента на эластичной подложке для очистки воздуха от диоксида углерода в герметичных объектах в условиях отсутствия энергетики.

### Введение

Система обеспечения жизнедеятельности (СОЖ) обитаемых космических объектов является одним из важнейших условий успешного выполнения любой программы пилотируемой космонавтики. Большое значение СОЖ придавали К.Э. Циолковский, С.П. Королев и многие другие основоположники космических исследований.

Под СОЖ понимается совокупность функционально взаимосвязанных средств и мероприятий, предназначенных для создания в обитаемом отсеке пилотируемого космического аппарата условий, обеспечивающих поддержание энергомассообмена организма космонавта с окружающей сре-

---

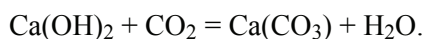
Дворецкий Станислав Иванович – доктор технических наук, профессор, и. о. ректора ТамбГТУ, г. Тамбов, e-mail: admin@tstu.ru; Гладышев Николай Федорович – кандидат химических наук, начальник отдела химии и новых химических технологий, ОАО «Корпорация «Росхимзащита», г. Тамбов; Краснянский Михаил Николаевич – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-инновационной деятельности ТамбГТУ; Таров Владимир Петрович – кандидат технических наук, профессор кафедры «Техника и технологии производства нанопроductов»; Галыгин Владимир Егорович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Переработка полимеров и упаковочное производство», ТамбГТУ, г. Тамбов.

дой на уровне, необходимом для сохранения его здоровья и работоспособности [1].

Система обеспечения жизнедеятельности обитаемых космических объектов предназначена для решения следующих задач: обеспечение экипажа кислородом, удаление диоксида углерода, удаление вредных микропримесей, поддержание физических и химических характеристик атмосферы, снабжение экипажа необходимым количеством питьевой воды и воды для санитарно-гигиенических и бытовых нужд и др.

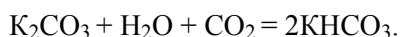
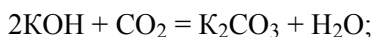
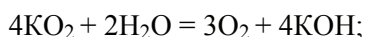
Первому полету человека в космическом корабле предшествовали запуски стратостатов, ракет и искусственных спутников Земли, в которых имелись СОЖ для людей и животных (большой частью для собак).

В стратостатах «СССР-1» (1933 г.) и «Осоавиахим-1» (1934 г.) СОЖ включали запасы криогенного и газообразного кислорода (последний находился в баллонах под давлением 150 атм.). Диоксид углерода удалялся с помощью химического поглотителя известкового (ХПИ) (95 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 5 % асбеста) по реакции



В ракетах, с помощью которых производилось зондирование ближнего космоса, находилась герметичная кабина с животными, имеющая в своем составе три баллона для смеси воздуха и кислорода. Диоксид углерода, выделяемый животными, удалялся с помощью химического поглотителя известкового.

Очистка атмосферы и обеспечение кислородом осуществлялось с помощью надперекисных соединений, которые при поглощении паров воды выделяли кислород и связывали диоксид углерода по реакциям:



На борту первых искусственных спутников Земли в состав СОЖ для собак входили некоторые элементы будущих СОЖ для космонавтов: устройство для приема пищи, ассенизационное устройство.

### **Состав газообеспечивающей системы и принцип ее работы**

Система обеспечения газового состава автоматических космических аппаратов «Бийон» и «Фотон» предназначена для снабжения кислородом животных, удаления диоксида углерода и газообразных микропримесей в спускаемом аппарате и состоит:

- из патронов с кислородсодержащим веществом и поглотителем вредных микропримесей;
- патрона с поглотителем диоксида углерода и вредных микропримесей;
- вентиляторов;
- блока управления и контроля.

Она обеспечивает комфортную газовую среду в спускаемом аппарате и работает следующим образом. Газовоздушная смесь вентилятором прокачивается через регенеративный патрон, где очищается от диоксида углерода и вредных примесей и обогащается кислородом. Избыток диоксида углерода удаляется путем периодического включения поглотительного патрона, который также обеспечивает очистку от вредных примесей. Система работает с блоком управления и контроля и газоанализатором по кислороду и диоксиду углерода.

В состав СОЖ на борту кораблей «Восток» и «Восход» для удаления диоксида углерода и очистки атмосферы входило устройство с использованием надпероксид калия и активированных углей. В корабле «Союз» для этих целей дополнительно применялся гидроксид лития. Для обеспечения кислородом использовали надпероксид калия и запасы кислорода и воздуха в баллонах под высоким давлением. Состав атмосферы (смесь азота и кислорода) в этих условиях контролировался с помощью газоанализатора на содержание кислорода и диоксида углерода.

Несмотря на повышенную безопасность и надежность, незначительные энергетические потребности при функционировании на основе запасов расходуемых веществ, взятых с Земли, вышеуказанные СОЖ имеют существенный недостаток: их масса и габариты увеличиваются пропорционально длительности космической экспедиции и числу членов экипажа. По достижении определенной продолжительности полета СОЖ на основе запасов являются препятствием для реализации экспедиции.

Основываясь на нормах потребления основных компонентов СОЖ, полученных в результате многолетней практики длительных орбитальных полетов на станциях типа «Салют», «Мир» и «МКС» (кислород – 0,96 кг/чел. сутки, питьевая вода – 2,5 кг/чел. сутки, пища – 1,75 кг/чел. сутки и т.д.), легко подсчитать, что необходимая масса запасов для экипажа, состоящего из шести человек, в условиях 500-суточного полета без учета массы тары и систем хранения составила бы величину более 58 т.

Полученные данные свидетельствуют о том, что СОЖ на основе запасов практически исключают реализацию длительных экспедиций. Габаритно-массовые ограничения могут быть преодолены за счет применения регенерационных СОЖ.

### **Применение наноструктурированных листовых поглотителей для удаления диоксида углерода**

Одним из способов улучшения технических характеристик поглотителей  $\text{CO}_2$  в последнее десятилетие является переход от гранул к наноструктурированным листовым материалам в виде ленты, рулона и др. Такой прием позволит развернуть и увеличить активную поверхность для успешного протекания процесса хемосорбции, снизить массогабаритные характеристики изделий, в которых он будет использоваться.

Для изготовления листовой формы наноструктурированного поглотителя  $\text{CO}_2$  применяется выпускаемый промышленностью России по ГОСТ 6755–88 ХПИ, который содержит не менее 96 % гидроксида

кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и 4 % гидроксида натрия  $\text{NaOH}$  (в пересчете на сухое вещество), имеет влажность 13 – 19 %. Он представляет собой гранулы белого или светло-серого цвета, полученные из маломagneзиальной извести и гидроксида натрия по традиционной технологии и имеет следующие технические характеристики:

– время защитного действия до проскоковой объемной доли  $\text{CO}_2$  в воздухе на выходе из патрона 0,1 % не менее 40 мин; до 0,5 % – не менее 120 мин от начала опыта;

– максимальное сопротивление не более 147 Па;

– максимальная температура воздуха не более 50 °С;

– массовая доля влаги 16 – 21 %;

– массовая доля связанного диоксида углерода не более 4 %;

– основная фракция от 2,80 до 5,50 мм не менее 90 %;

– прочность на истирание не менее 65 %;

– насыпная плотность продукта около 950 г/дм<sup>3</sup>.

Существенными недостатками гранулированных поглотителей являются: низкая прочность и, как следствие, пыление и разрушение поглотителя в процессе эксплуатации, что приводит к снижению сорбционной емкости. Технологический процесс производства гранулированных поглотителей в течение многих лет остается неизменным и отличается высокой трудоемкостью, наличием большого количества отходов, требующих дополнительных технологических операций по утилизации и т.д. Ведущими странами в области создания известковых хемосорбентов являются Россия, Великобритания, Германия, США.

В России разработка новых химических поглотителей, а также исследования по созданию химического поглотителя диоксида углерода в форме листа на основе гидроксидов щелочных и/или щелочноземельных металлов проводятся в ОАО «Корпорация «Росхимзащита» совместно с учеными ТГТУ.

Достоинствами хемосорбента в виде гибкого материала являются: организованная газопроницаемость (порообразование), высокая механическая прочность (поглотитель не пылит), удобство переснаряжения и др.

Введение полимерной добавки позволяет получать листовой микропористый материал различной толщины и ширины, его химический состав не отличается от традиционного известкового поглотителя в форме гранул. Следует отметить, что в отличие от способа получения гранулированных продуктов, где хемосорбент полностью высушивают, а затем вновь увлажняют, в способе по патенту [2] листовой материал частично дегидратируют до заданной остаточной влаги. Этот прием не ухудшает хемосорбционных свойств поглотителя, но обеспечивает его прочность. Хемосорбент получил название «Химический эластичный листовой поглотитель известково-калиевый» (ХЭЛП-ИК). Поглотитель диоксида углерода ХЭЛП-ИК выпускается по ТУ 2165-235-05807954–2008 «Хемосорбент ХЭЛП-ИК» и имеет санитарно-эпидемиологическое заключение и Сертификат о типовом одобрении Российского морского регистра судоходства № 10.00007.003. Основной химический состав ХЭЛП-ИК включает: 73 – 85 %  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ; 2 – 10 %  $\text{KOH}$  и 17 – 21 %  $\text{H}_2\text{O}$ . Дополнительно в состав могут быть введены структуро- или волокнообразующие компо-

ненты, которые обеспечивают эластичность и прочность листового материала без снижения хемосорбционных свойств.

Одной из целей разработки листового поглотителя  $\text{CO}_2$  является активность хемосорбента к диоксиду углерода в широком диапазоне температур как при положительных, так и при отрицательных температурах вплоть до минус  $40^\circ\text{C}$ . Выпускаемый отечественной промышленностью гранулированный ХПИ, содержащий около 4 % гидроксида натрия, резко снижает свою активность при температурах ниже  $0^\circ\text{C}$ , и при более низких температурах реакция взаимодействия с  $\text{CO}_2$  не протекает вследствие вымораживания свободной воды. Этот недостаток относится и к ряду других составов известных зарубежных марок хемосорбентов, содержащих гидроксид натрия. Хемосорбент ХЭЛП-ИК получают в форме листа, используя подложку (матрицу) из различных нетканых материалов, например стекловоломата или волокнистого полипропиленового материала спанбонд – это общее название нетканых материалов, изготовленных из термоскрепленных бесконечных волокон. Плотность материала варьируется в пределах  $13\text{...}150\text{ г/м}^2$ . Нетканый полимерный материал представляет собой систему хаотично переплетенных волокон толщиной  $20\text{...}30\text{ мкм}$ , что обеспечивает его пористую структуру и благодаря чему он может выполнять функцию армирующего компонента в составах композиционных материалов. Листовой поглотитель ХЭЛП-ИК получают путем размещения пасты между двумя слоями волокнистого материала, прокатывают, затем дегидратируют до заданной остаточной влаги [3]. Пористая структура полимерной оболочки обеспечивает высокую газопроницаемость хемосорбента. Поскольку размер частиц гидроксида кальция соизмерим или больше размера пор спанбонда, слой хемосорбента, содержащий примерно 20 % влаги, находится между листами матрицы как в «сетке». При таком способе получения листовой поглотитель не осыпается, практически не пылит, легко гнется, сворачивается в рулон без деформаций.

Проведенные сравнительные испытания разработанного хемосорбента с его американским аналогом показали, что динамическая активность известкового поглотителя ХЭЛП-ИК при толщине листа примерно  $1,5\text{ мм}$  (средняя толщина поглотителя ExtendAir) составляет около  $115\text{ дм}^3/\text{кг}$ , а образца поглотителя ExtendAir (США)  $80\text{...}90\text{ дм}^3/\text{кг}$ .

Экспериментальные исследования активности разработанного хемосорбента в статических условиях показывают, что хемосорбент на эластичной подложке ХЭЛП-ИК по скорости поглощения диоксида углерода в статических условиях превосходит серийные хемосорбенты как минимум в два раза.

### Заключение

Использование хемосорбента на эластичной подложке для очистки воздуха от диоксида углерода в герметичных объектах в условиях отсутствия энергетики позволит снизить:

- объемную долю диоксида углерода и, тем самым повысить комфортность пребывания пользователей в герметичном объекте;
- количество хемосорбента, необходимого для очистки воздуха от диоксида углерода вследствие более полной отработки продукта и, как

следствие, уменьшить массо-габаритные характеристики изделий, в состав которых будет входить разработанный хемосорбент.

Вышеизложенный материал позволяет сделать вывод о возможности использования листовых поглотителей для удаления диоксида углерода в обитаемых космических объектах.

#### *Список литературы*

1. ГОСТ 28040–89. Комплекс систем обеспечения жизнедеятельности космонавта в пилотируемом космическом аппарате. Термины и определения. – Введ. 1990–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 26 с.

2. Пат. 2381831 Российской Федерации, МПК В 01 J 20/04. Способ изготовления химического адсорбента диоксида углерода / Гладышев Н.Ф. [и др.]. – № 2008118664/15 ; заявл. 12.05.2008 ; опублик. 20.02.2010, Бюл. № 5. – 8 с.

3. Поглотитель диоксида углерода на эластичной подложке / Н.Ф. Гладышев [и др.] // Системы жизнеобеспечения как средство освоения человеком дальнего космоса : материалы конф. (24–27 сент. 2008 г.) / Гос. науч. центр РФ – Ин-т мед.-биол. проблем РАН ; под общ. ред. В.М. Баранова. – М., 2008. – С. 29–30.

---

### **Application of Nanostructured Chemisorbents to Remove Carbon Dioxide in Manned Space Objects**

**S.I. Dvoretzky, N.F. Gladyshev, M.N. Krasnyansky,  
V.P. Tarov, V.E. Galygin**

*Tambov State Technical University, Tambov;  
OAO "Corporation" Roskhimzashchita", Tambov*

**Key words and phrases:** air purification; carbon dioxide; chemisorbent; flexible substrate; nanostructuring; sealed object.

**Abstract:** The materials on the application of nanostructured chemisorbents to remove carbon dioxide in the manned space objects have been presented. The advantages of applying chemisorbent on flexible substrate to remove carbon dioxide from the air in sealed objects in the absence of power have been shown.

---

© С.И. Дворецкий, Н.Ф. Гладышев, М.Н. Краснянский,  
В.П. Таров, В.Е. Галыгин, 2013