

**КОМПОЗИЦИОННЫЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ СОРБЕНТЫ  
ДЛЯ СИСТЕМ РЕГЕНЕРАЦИИ И ОЧИСТКИ ВОЗДУХА  
ОБИТАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Т. В. Гладышева<sup>1</sup>, Н. Ф. Гладышев<sup>1</sup>, С. И. Дворецкий<sup>2</sup>  
Н. Ц. Гагапова<sup>3</sup>, Ю. А. Суворова<sup>1,3</sup>**

*НОЦ ТГТУ – ОАО «Корпорация «Росхимзащита»*

*«Новые химические технологии» (1);*

*кафедры: «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» (2),*

*«Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность» (3),*

*ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; sdvovetsky@tstu.ru*

**Ключевые слова:** выделение кислорода; композиционные сорбенты; поглощение диоксида углерода; регенерация и очистка воздуха; сорбционная емкость.

**Аннотация:** Разработаны композиционные материалы, сочетающие комбинацию свойств полимерной матрицы (устойчивость к механическим воздействиям и др.) и функционального наполнителя. Для получения нанокристаллических материалов с заданными свойствами применены два различных метода: 1) непосредственный синтез целевого продукта на стекломатрице; 2) формование мелкодисперсных частиц адсорбента в элементы требуемой геометрической формы с помощью связующего (растворимого полимера). Исследованы сорбционные свойства полученных материалов, показано существенное превосходство их над серийными продуктами, изготовленными по традиционным технологиям. Использование полученных по новым технологиям материалов в системах регенерации и очистки воздуха позволит существенно улучшить их технические характеристики.

---

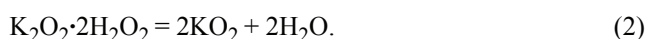
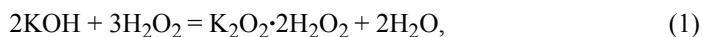
### Введение

Мировой опыт развития химической основы для средств химико-биологической защиты и систем жизнеобеспечения свидетельствует о том, что функциональные наноструктурированные химические продукты и материалы могут в значительной степени улучшить технические и эксплуатационные возможности существующих средств и систем, а их создание является одним из приоритетных направлений исследований и разработок в области адсорбционных технологий и техники защиты.

Для получения композиционных материалов с заданными свойствами для систем регенерации и очистки воздуха обитаемых объектов применяли два различных метода: 1) метод непосредственного синтеза целевого продукта на стекловолоконистой полимерной матрице [1 – 4]; 2) метод формования мелкодисперсных частиц сорбента с использованием связующего (растворимого полимера) [5, 6], позволяющий получать поглотитель в различной форме.

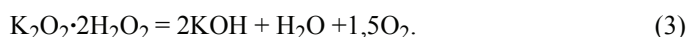
## Метод получения нанокристаллического надпероксида калия на стекловолоконной матрице

Процесс получения нанокристаллического надпероксида калия на стекловолоконной высокопористой матрице включал подготовку заготовок матрицы из стекломата и щелочного раствора пероксида водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$ , пропитку стекловолоконной матрицы приготовленным раствором пероксосолявата пероксида калия  $\text{K}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$  (реакция 1) и последующую дегидратацию высоковлажного материала в вакууме при нагревании, сопровождаемую реакцией диспропорционирования  $\text{K}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$  по реакции (2):

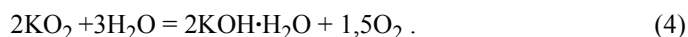


Следует заметить, что  $\text{K}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$  образуется в системе  $\text{KOH} - \text{H}_2\text{O}_2 - \text{H}_2\text{O}$  при взаимодействии 50%-го раствора  $\text{H}_2\text{O}_2$  с твердой щелочью  $\text{KOH}$  и присутствует в щелочном растворе пероксида водорода в виде высокодисперсных частиц.

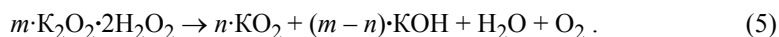
Получение надпероксида калия из пероксосолявата является сложной технологической задачей, поскольку в процессе термолиза диспропорционирование  $\text{K}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$  при определенных условиях может протекать по реакции (2), либо по реакции (3):



Реакция диспропорционирования  $\text{K}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$  экзотермична. Реакция (2) является основной, а  $\text{KOH}$  образуется по реакции (3) или в процессе протекания вторичной реакции (4) образовавшихся кристаллов  $\text{KO}_2$  с парами воды – продуктом реакции (2):



Вследствие высокой активности  $\text{KO}_2$  к парам воды полностью исключить реакцию (4) в промышленных условиях не представляется возможным. Как следствие, в составе продукта термического разложения  $\text{K}_2\text{O}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}_2$  будет неизбежно присутствовать примесь  $\text{KOH}$ , учитывая диффузию паров воды в слое при сушке высоковлажной матрицы, поэтому наиболее вероятным протекание процесса следует ожидать по схеме, включающей реакции (2) и (3):



Соотношение  $\text{KO}_2$  и  $\text{KOH}$  в составе конечного продукта разложения щелочного раствора пероксида водорода на пористой матрице можно регулировать изменением технологических параметров процесса сушки (температуры, давления, скорости удаления паров воды из зоны реакции и др.), а также выбором способа сушки.

Полученные в работах [3, 4, 7 – 10] результаты положили начало новому направлению в создании композиционных регенеративных продуктов, основой которого является осаждение нанокристаллов  $\text{KO}_2$  на матрице из хаотически переплетенных стеклянных волокон. Такой продукт имеет максимально развернутую активную поверхность, не пылит, легко поддается обработке и изготавливается в форме пластин толщиной 2...3 мм. При этом обеспечивается полное выделение активного кислорода с коэффициентом регенерации  $\approx 1,5$ , то есть близким к оптимальному, снижение сопротивления дыханию, исключение оплавления продукта при эксплуатации.

## **Физико-химические свойства нанокристаллического надпероксида калия на стекловолоконистой матрице**

Физико-химические свойства, кинетика хемосорбции  $\text{CO}_2$  и выделения кислорода в присутствии паров воды газовой смеси нанокристаллического регенеративного продукта подробно описаны в работе [9].

Регенеративный продукт, полученный методом непосредственного синтеза целевого продукта на стекловолоконистой полимерной матрице, представляет собой нанокристаллический надпероксид калия, закрепленный на поверхности и в порах волоконистой и инертной к пероксиду водорода стекловолоконистой матрицы [4, 10]. Содержание активного кислорода в продукте в пересчете на чистый порошок надпероксида калия может составлять до 32 %.

Величина кажущейся плотности регенеративного продукта на пористой матрице определялась методом ртутной порометрии и составляет  $(0,565 \pm 0,08) \text{ г/см}^3$ . Сорбционная емкость по диоксиду углерода в динамическом потоке влажного воздуха с повышенной до 4 % концентрацией  $\text{CO}_2$  составляет 120...140  $\text{дм}^3/\text{кг}$ , что на 40 – 60 % выше показателей выпускаемых промышленностью гранулированных регенеративных продуктов на основе надпероксида калия.

## **Новые изделия на основе нанокристаллического регенеративного продукта**

На основе разработанного наноструктурированного регенеративного продукта созданы новые средства защиты индивидуального (самоспасатели) и коллективного типа. Новые самоспасатели, при прочих равных параметрах с серийно выпускаемым аппаратом СПИ-20, имеют меньшую массу, обеспечивают температуру вдыхаемой газодыхательной смеси примерно  $45^\circ\text{C}$  и сопротивление дыханию в двенадцать раз ниже, чем в СПИ-20.

Относительно малая масса (0,9 кг), низкое сопротивление дыханию (5 мм вод. ст.) и температура вдыхаемого воздуха не выше  $45^\circ\text{C}$  позволяют использовать самоспасатель для экстренной защиты органов дыхания и зрения пожилых людей и лиц, страдающих легочными заболеваниями.

Разработка наноструктурированного регенеративного продукта позволяет существенно (на 50 – 90 %) снизить металлоемкость дыхательных устройств и уменьшить (на 15 – 25 %) расход резинотехнических материалов, и таким образом снизить массу разрабатываемых изделий в 1,5 – 2 раза [2 – 4, 10].

Проведены исследовательские работы по созданию блока химической регенерации воздуха в герметичных обитаемых объектах [8, 9], обеспечивающего поддержание объемной доли кислорода в объекте от 19,0 до 23,0 %, объемной доли диоксида углерода не более 1,0 % в течение 5 ч при температуре  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ , относительной влажности  $(85 \pm 10) \%$ , потребление кислорода примерно  $28 \text{ дм}^3/\text{ч}$  на одного человека.

Блок химической регенерации воздуха отличается: удобством применения за счет небольших массогабаритных характеристик (общая масса вместе со стойкой не более 20 кг, масса самого блока в упаковке – 5 кг); малым временем приведения в рабочее состояние (сборка стойки не более 10 мин, размещение и подсоединение блока не более 5 мин); мобильностью, которая обеспечивается использованием колесных опор стойки; повышенной комфортностью дыхания и снижением пожароопасности.

## Получение композиционных материалов для очистки воздуха методом формования

В настоящее время методом формования имеется возможность получения всех известных форм сорбентов: гранул, листов, блоков (рис. 1). Получение композиционных сорбционно-активных материалов состоит в диспергировании порошка сорбента (гидроксид кальция, цеолиты различных марок и др.) в раствор фторполимера. Дисперсию наносят на полимерную основу, в качестве которой используют различные тканые, нетканые или пористые материалы с низкой поверхностной плотностью (спанбонд, полимерные сетки и др.), для получения листовых материалов, или распыляют, получая гранулы, или отливают в заранее подготовленные формы и получают блоки (рис. 1). Растворитель удаляют, выдерживая образцы при температуре от 50 до 80 °С при атмосферном давлении или под вакуумом. После термообработки образцы активируют различными способами в зависимости от назначения материала.

Очевидно, что исходный адсорбент (наполнитель) прочно закреплен в матрице (связующем). Основа матрицы – фторопласт Ф-42 не забивает поры сорбента, скрепляя частицы активного компонента. Экспериментально установлено, что в статических условиях скорость поглощения водяного пара полученными композиционными сорбционно-активными материалами на основе цеолита NaX в среднем на 15–17% выше, чем у гранулированного цеолита NaX-B-1Г. При этом полученные материалы обеспечивают более глубокую осушку воздуха (до 1,30 мг/дм<sup>3</sup>, что соответствует точке росы –72,4 °С).

На рисунке 2 представлены микрофотографии композиционного сорбента.

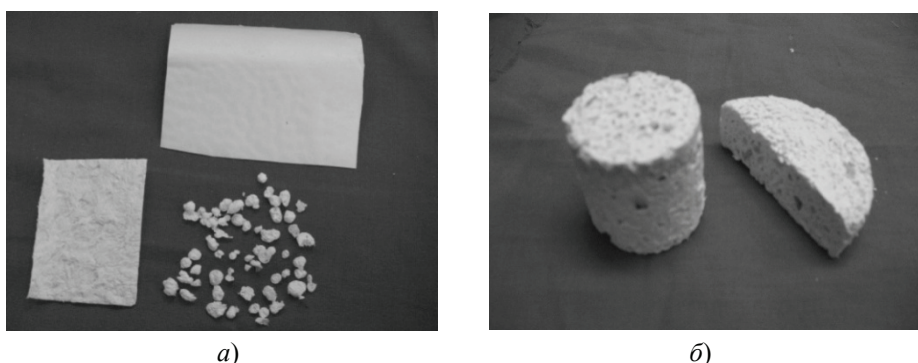


Рис. 1. Композиционные материалы в форме:  
а – листов и гранул; б – блоков

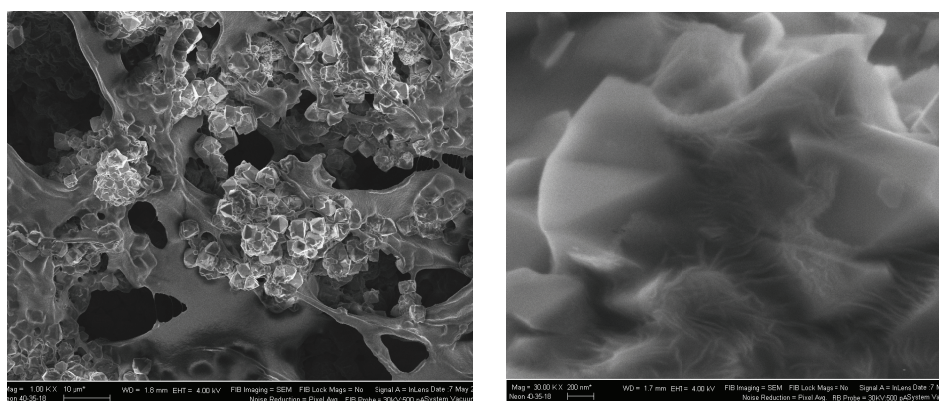


Рис. 2. Микрофотографии сорбента на матрице из фторопласта Ф-42:  
а –  $\times 100$ ; б –  $\times 3000$

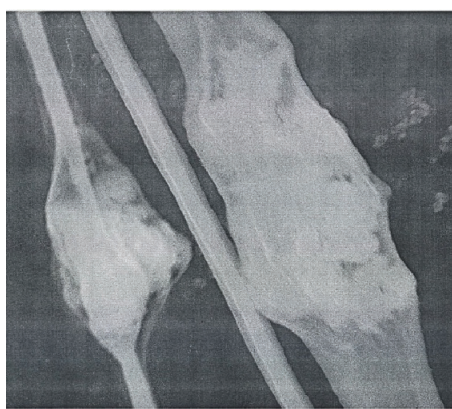
Исследования композиционных сорбционно-активных материалов на основе гидроксида кальция в статических и динамических условиях показали, что динамическая активность хемосорбента в статических условиях при скорости поглощения  $6 \text{ дм}^3/(\text{ч}/\text{кг})$  поглотителя не менее  $190 \text{ дм}^3/\text{кг}$  исходного продукта, что в 2–2,5 раза больше, чем у серийного блокового поглотителя на основе LiOH. При этом скорость поглощения диоксида углерода в 2,5 раза выше, чем у серийного и в два раза больше, чем у листового поглотителя ExtendAir (США).

Сорбционная емкость хемосорбента по диоксиду углерода в динамических условиях составляет  $120 \text{ дм}^3/\text{кг}$ , что на 50 % больше, чем у самого распространенного поглотителя ХП-И, а скорость поглощения в 3,5 раза выше.

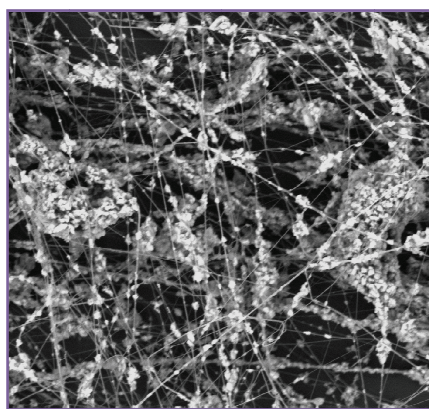
В исследовании предпринята попытка получения волокнистого известкового химического поглотителя, предназначенного для очистки окружающей среды от повышенной концентрации диоксида углерода  $\text{CO}_2$  с содержанием активного компонента около 70 %. Опытные образцы композиционных волокон получали методом электроформования в Научно-техническом центре аэрозолей НИФХИ им. Л. Я. Карпова в электростатическом поле напряжением от 20 до 30 кВ, расстоянием между электродами от 20 до 30 см с производительностью 10 г/ч сухого волокна. В качестве твердых частиц использовали порошок гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  дисперсностью менее 45 мкм, а в качестве волокнообразующего компонента – фторполимер марки Ф-42Л (ГОСТ 25428–82) – сополимер тетрафторэтилена и винилденфторида. Сополимер устойчив к действию агрессивных сред в широком диапазоне температур, обладает высокой термостойкостью и широко применяется в электроформовании волокнистых материалов. В качестве растворителя выбран этилацетат. Количество  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в исходной смеси составляло 80 % масс. по отношению к Ф-42Л [11].

На рисунке 3 представлены микрофотографии композиционного сорбента в виде волокна. Агломераты частиц гидроксида кальция включены в структуру волокна, образующего газопроницаемую сетчатую структуру, что позволяет одновременно осуществлять процессы хемосорбции и фильтрации воздуха.

Сорбционная емкость разработанных композиционных хемосорбентов в 1,2–2 раза выше, чем у известковых хемосорбентов марок ExtendAir и ХП-И при одинаковом содержании полимерного связующего в образцах. Количество  $\text{CO}_2$ , поглощенного волокнистым поглотителем, в 1,6–3 раза превышает показатель аналогичного материала в форме листа.



а)



б)

**Рис. 3. Микрофотографии волокнистого сорбента:**

*a* –  $\times 3000$ ; *б* –  $\times 100$

## Заключение

Получение регенеративных продуктов на высокопористой стекловолокнистой матрице – наиболее перспективное направление в области создания регенеративных продуктов нового поколения. Такой метод позволяет получать продукт для регенерации воздуха в одну стадию в отличие от способов, включающих формование гранул из порошка надпероксида калия.

Нанокристаллы надпероксида калия, синтезированные из щелочного раствора пероксида водорода, прочно закрепляются на стекловолкне, что препятствует образованию пыли при эксплуатации регенеративного продукта. Кроме того, большое число активных центров при развитой поверхности материала обеспечивает повышенную (на 30 – 40 %) сорбционную емкость регенеративного продукта на матрице по диоксиду углерода по сравнению с регенеративным продуктом в форме гранул.

Применение полимерной матрицы и дисперсных компонентов (порошков цеолита, гидроксида кальция и других) позволяет получать композиционные материалы, не уступающие по своим сорбционным характеристикам исходным сорбентам.

Использование композиционных сорбентов в системах регенерации и очистки воздуха позволяет снизить массу и габариты изделий и при этом существенно повысить их физиолого-гигиенические показатели.

*Работа выполнена при финансовой поддержке со стороны Минобрнауки РФ в рамках базовой части (ГЗ № 2014/219, проект № 995).*

### Список литературы

1. Вольнов, И. И. Перекисные соединения щелочных металлов / И. И. Вольнов. – М. : Наука, 1980. – 160 с.
2. Гладышев, Н.Ф. Технология и аппаратное оформление производства регенеративных продуктов нового поколения и средств индивидуальной защиты / Н. Ф. Гладышев, С. И. Дворецкий, С. Б. Путин. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – 56 с. – (Препринт Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та, 2006 / Тамб. гос. техн. ун-т. – Препринт № 17, рубрика 2А. – 2006. – Т. 12, № 4.).
3. Регенеративные продукты нового поколения: технология и аппаратное оформление / Н. Ф. Гладышев [и др.]. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 156 с.
4. Гладышева, Т. В. Нанокристаллический регенеративный продукт. Синтез. Свойства. Применение / Т. В. Гладышева, Н. Ф. Гладышев, С. И. Дворецкий. – М. : Спектр, 2014. – 120 с.
5. Новый подход к регенерации воздуха в герметичных обитаемых объектах / С. И. Дворецкий [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2012. – Спец. вып. (39). – С. 159 – 165.
6. Композиционный материал для сорбции CO<sub>2</sub> / Н. Ф. Гладышев [и др.] // Перспектив. материалы. – 2013. – № 10. – С. 34 – 40.
7. Интенсификация процесса получения регенеративного продукта на матрице / Н. Ф. Гладышев [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 12, № 4Б. – С. 1057 – 1064.
8. Дворецкий, Д. С. Кинетика взаимодействия диоксида углерода с регенеративным продуктом на матрице РПК-П // Д. С. Дворецкий, М. Ю. Плотников // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2010. – Т. 16, № 3. – С. 597 – 601.

9. Экспериментальное исследование процесса регенерации воздуха в герметичных обитаемых объектах / С. И. Дворецкий [и др.] // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2014. – Т. 20, № 2. – С. 292 – 298.

10. Разработка нанокристаллического материала для регенерации воздуха и изделий на основе этого материала / Н. Ф. Гладышев [и др.] // Рос. хим. журн. – 2013. – Т. 57, № 1. – С. 130 – 136.

11. Получение волокнистых фторполимерных композитов для поглощения диоксида углерода методом электроформования / Н. Ф. Гладышев [и др.] // Хим. технология. – 2014. – № 2. – С. 102 – 105.

---

## Composite Nanostructured Sorbents for Recovery and Air Purification Systems for Inhabited Objects

T. V. Gladysheva<sup>1</sup>, N. F. Gladyshev<sup>1</sup>, S. I. Dvoretzky<sup>2</sup>  
N. Ts. Gatapova<sup>3</sup>, Yu. A. Suvorova<sup>1,3</sup>

REC TSTU - JSC "Corporation "Roskhimzaschita"

"New Chemical Technologies" (1);

Department of Technology and Equipment for Food and Chemical Production" (2),

Department of Processes, Devices and Anthropogenic Safety, TSTU (3);

sdvoretzky@tstu.ru

**Keywords:** absorption of carbon dioxide; composite sorbents; oxygen evolution; recovery and purification of air; sorption capacity.

**Abstract:** The composite materials that combine properties of the polymer matrix (mechanical resistance, etc.) and the functional filler have been developed. For nanocrystalline materials with desired properties we used two different methods: 1) direct synthesis of the desired product on glass matrix; 2) forming fine particles in the adsorbent elements of the desired geometric shape using a binder (soluble polymer). The studies of the sorption properties of the materials showed a significant superiority over similar commercial products made by traditional technologies. The materials produced by new technologies can be used in recovery and air purification systems and significantly improve their performance.

### References

1. Vol'nov I.I. *Perekisnye soedineniya shchelochnykh metallov* (Peroxy compound, alkali metal), Moscow: Nauka, 1980, 160 c.

2. Gladyshev N.F., Dvoretzky S.I., Putin S.B. *Tekhnologiya i apparaturnoe oformlenie proizvodstva regenerativnykh produktov novogo pokoleniya i sredstv individual'noi zashchity* (Technology and production equipment design of a new generation of regenerative products and personal protective equipment), Tambov: Izdatel'stvo Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2007, 39 p.

3. Gladyshev N.F., Gladysheva T.V., Dvoretzky S.I., Putin S.B., Ul'yanova M.A., Ferapontov Yu.A. *Regenerativnye produkty novogo pokoleniya: tekhnologiya i apparaturnoe oformlenie* (Regenerative new generation products: technology and hardware design), Moscow: Mashinostroenie-1, 2007, 156 p.

4. Gladysheva T.V., Gladyshev N.F., Dvoretiskii S.I. *Nanokristallicheskii regenerativnyi produkt. Sintez. Svoistva. Primenenie* (Nanocrystalline regenerative product. Synthesis. Properties. Application), Moscow: Spektr, 2014, 120 p.
  5. Dvoretiskii S.I., Gladyshev N.F., Gladysheva T.V., Suvorova Yu.A., Plotnikov M.Yu. *Voprosy sovremennoi nauki i praktiki. Universitet imeni V.I. Vernadskogo*, 2012, special issue (39), pp. 159-165.
  6. Gladyshev, N.F., Gladysheva T.V., Suvorova Yu.A. Putin S.B., Simanenkov E.I. *Perspektivnye materialy*, 2013, no. 10, pp. 34-40.
  7. Gladyshev, N.F., Gladysheva T.V., Dvoretiskii S.I., Dorokhov R.V., Simanenkov E.I. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2006, vol. 12, no. 4B, pp. 1057-1064.
  8. Dvoretiskii D.S., Plotnikov M.Yu. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2010, vol. 16, no. 3, pp. 597-601.
  9. Dvoretiskii S.I., Plotnikov M.Yu., Gladyshev N.F., Gladysheva T.V. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2014, vol. 20, no. 2, pp. 292-298.
  10. Gladyshev N.F., Gladysheva T.V. Putin, S.B., Dorokhov R.V., Simanenkov E.I., Plotnikov M.Yu., Rodaev V.V. *Russian Journal of General Chemistry*, 2014, vol. 84, issue 11, pp 2353-2358.
  11. Gladyshev N.F., Gladysheva G.V., Suvorova Yu.A., Putin S.B., Filatov Yu.N., Smul'skaya M.A., Filatov I.Yu., Rodaev V.V., Ermakov A.A. *Khimicheskaya Tekhnologiya*, 2014, no. 2, pp. 102-105.
- 

### **Kompositionsnanostrukturierte Sorbenzien für die Systeme der Regeneration und der Reinigung der Luft der gewohnten Objekte**

**Zusammenfassung:** Es sind die Kompositionsmaterialien, die die Kombination der Eigenschaften der polymeren Matrix kombinieren (die Immunität zu den mechanischen Einwirkungen u.a.) und der funktionalen Füllmasse entwickelt. Für das Erhalten der nanokristallinen Materialien mit den aufgegebenen Eigenschaften wurden zwei verschiedene Methoden angewandt: 1) die unmittelbare Synthese des zweckbestimmten Produktes auf dem Glasmatrix; 2) die Formung der feindispersen Teilchen des Adsorbens in die Elemente der geforderten geometrischen Form mit Hilfe des verbindenden auflösbaren Polymers. Die Forschungen der Sorptionseigenschaften der bekommenen Materialien haben ihre wesentliche Überlegenheit über den Serienlebensmitteln, die nach den traditionellen Technologien hergestellt sind, gezeigt. Die Nutzung der nach den neuen Technologien bekommenen Materialien in den Systemen der Regeneration und der Reinigung der Luft erlaubt wesentlich, ihre technischen Charakteristiken zu verbessern.

---

### **Absorbants composites nanostructurés pour les systèmes de la régénération et de la purification de l'air des objets habités**

**Résumé:** Sont conçus les matériaux composites, associant la combinaison des propriétés de la matrice polymère (résistance aux chocs mécaniques et autres) et du remplisseur fonctionnel. Pour l'obtention des matériaux nanocristalliques avec des propriétés spécifiques ont été appliquées deux méthodes différentes: 1) synthèse directe du produit à affectation déterminée sur la matrice de verre; 2) formation des particules de la dispersion fine de l'adsorbant dans les éléments exigeant une forme géométrique à

l'aide d'un liant polymère soluble). Les études des propriétés de sorption des matériaux obtenus ont montré leur supériorité considérable par comparaison avec les produits de série fabriqués selon des méthodes traditionnelles. L'utilisation des matériaux obtenus par de nouvelles technologies dans les systèmes de la régénération et de la purification de l'air permet d'améliorer considérablement leurs caractéristiques techniques.

---

**Авторы:** *Гладышева Тамара Викторовна* – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник; *Гладышев Николай Федорович* – кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник, Научно-образовательный центр ТГТУ – ОАО «Корпорация «Росхимзащита» «Новые химические технологии»; *Дворецкий Станислав Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологии и оборудование пищевых и химических производств»; *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Суворова Юлия Александровна* – научный сотрудник, ОАО «Корпорация «Росхимзащита», аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Килимник Александр Борисович* – доктор химических наук, профессор кафедры «Химия и химические технологии», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---