



УДК 539.2.21  
ББК 30.6

## СОРБЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК КАК ОСНОВА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ВОДНО-ЭТАНОЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

*Н.П. Запороцкова, И.В. Запороцкова, Т.А. Ермакова*

В работе выполнены квантово-химические исследования процессов адсорбции молекул тяжелых спиртов на внешней поверхности однослойных углеродных нанотрубок. Проведены экспериментальные исследования их сорбционной активности по отношению к органическим соединениям. Доказано положительное влияние углеродных нанотрубок на процесс очистки водно-этанольных смесей.

**Ключевые слова:** углеродные наноматериалы, адсорбция, очистка, водно-этанольные смеси, тяжелые спирты, физико-химический анализ.

В связи с увеличением количества некачественной спиртосодержащей продукции, поступающей на рынок пищевой и химической промышленности, существует актуальная потребность в разработке новых более эффективных методов очистки спиртосодержащих жидкостей (или водно-этанольных смесей) от вредных токсичных примесей.

В настоящее время особые надежды в развитии многих областей науки и техники связывают с углеродными нанотрубками (УНТ) [1; 5; 7]. Нанотрубки являются сегодня материалом широкого практического применения, коммерческим продуктом и предметом маркетинговых исследований. Замечательная особенность УНТ связана с их уникальными сорбционными характеристиками [2]. Для многих технологических применений привлекательна высокая удельная поверхность материала нанотрубок, достигающая значений около  $600 \text{ м}^2/\text{г}$ . Столь высокая удельная поверхность, в несколько раз превышающая удельную поверхность лучших современных сорбентов, открывает возможность их использования в фильтрах и других аппаратах химических технологий. С помо-

щью нанотрубок, обладающих эффективностью, намного превосходящей эффективность современных сорбентов, можно очищать различные газообразные и жидкие вещества от вредных, в том числе и токсичных, примесей. Важной особенностью, отличающей УНТ от других известных материалов, является наличие в нанотрубке внутренней полости. Вещество проникает внутрь УНТ под действием внешнего давления либо в результате капиллярного эффекта и удерживается там благодаря сорбционным силам [4]. Это обеспечивает возможность селективной адсорбции нанотрубками. Кроме того, сильно искривленная поверхность УНТ позволяет адсорбировать на ее поверхности достаточно сложные молекулы, вплоть до молекул органической природы [3; 8]. При этом эффективность нанотрубок по отношению к органическим молекулам в десятки раз превосходит активность графитовых адсорбентов, являющихся на сегодняшний день самыми распространенными средствами очистки. Нанотрубки могут адсорбировать примеси как на внешней поверхности, так и на внутренней, что позволяет проводить селективную адсорбцию. Поэтому нанотрубки можно использовать для финишной очистки различных жидких веществ от примесей сверхмалых концентраций.

В связи с вышесказанным предлагается использовать УНТ для очистки пищевых спиртосодержащих жидкостей, в том числе продукции ликероводочной промышленности, от побочных (возможно, токсичных) продуктов, к которым могут быть отнесены, в частности, сивушные масла. Это обеспечит высокотехнологичные процессы очистки жидкого спиртосодержащего материала на заключительном этапе производства от последних, наиболее трудноизвлекаемых побочных продуктов. Следует отметить, что до настоящего времени подобная технология очистки спиртосодержащих жидкостей не разработана.

Мы предлагаем выполнять очистку пищевых спиртосодержащих жидкостей от нежелательных побочных продуктов с помощью фильтра нового типа на основе углеродных нанотрубок и фуллеренов, который будет введен в цикл очистки спиртосодержащих жидкостей на заключительном этапе производства.

В настоящее время на рынке используются следующие основные технологии очистки водно-этанольных смесей:

1. *Очистка с помощью угольных фильтров.* Это очистка через фильтр, состоящий из древесного угля. Однако подобная технология не обладает высоким качеством очистки, а используемые угольные фильтры придают очищенным жидкостям характерный запах и вкус, снижающие потребительское качество получаемого продукта.

2. *Очистка молоком и яичными белками.* В России также применяют метод очистки водно-спиртовой смеси молоком и яичными белками. Такую технологию используют, например, в компании «Парламент Групп». Молоко или яичные белки добавляются уже в готовый водно-спиртовой купаж перед традиционной многоступенчатой фильтрацией. Такая технология существенно удорожает производство, поэтому используется только для производства водок высшего класса.

3. *«Серебряная фильтрация».* В этом случае используются те же угольные фильтры, но обогащенные ионами серебра. Суть технологии состоит в следующем: в химически чистый уголь внедряется серебро. На водку во время ее прохождения через такие фильтроэлементы воздействуют обладающие смягчающими свойствами ионы серебра. При этом

степень очистки жидкости увеличивается многократно.

4. *Очистка золотом и драгоценными камнями.* Очистка золотом заключается в пропускании водки через мембраны с золотыми нитями. Данную технологию очистки использует компания «Ладога» для производства своей водки премиум-класса «Царская Золотая». Однако дальше всех пошли производители шотландской «Diva Vodka»: их водка при очистке фильтруется крошкой из бриллиантов и других драгоценных камней.

Но такие дополнительные способы очистки, как в п. 2, 3 и 4, заметно удорожают производство, поэтому их используют лишь для выпуска премиальных водок.

Предлагаемая технология будет внедряться на предприятиях по производству спиртов и водно-этанольных смесей на заключительном этапе производства, что не приведет к существенным изменениям технологического процесса и не повлечет особых затрат на включение созданных фильтров в цикл производства. В силу не очень высокой стоимости фильтра и возможности его многократного использования после очистки путем ультразвукового встряхивания, полученный продукт не будет значительно удорожаться, в то время как его качество (потребительское и безопасное с точки зрения здоровья) существенно возрастет. Поскольку предприятия по переработке спиртов и изготовления спиртосодержащей продукции есть практически в любом регионе страны, то число потребителей данной технологии очень велико, рынок сбыта технологии очень широк.

В результате выполнения инновационных исследований и разработок мы сможем предложить к реализации как готовые фильтры, содержащие углеродный наноматериал, так и саму технологию очистки. Для производства фильтров необходимы углеродные наноматериалы, такие как наполнитель-сорбент и керамика для создания защитного кожуха фильтра.

На настоящем этапе получены следующие результаты, позволяющие надеяться на эффективность предлагаемой технологии:

1. Изучены и проанализированы современные способы очистки водно-этанольных смесей от нежелательных, в том числе ток-

сичных, примесей, сформулирована необходимость поиска новых эффективных методов очистки таких жидкостей.

2. На основе изучения структуры и свойств углеродных нанотрубок, обладающих уникальными сорбционными характеристиками, предложен инновационный способ очистки спиртосодержащих жидкостей с помощью углеродных наноматериалов.

3. С использованием установки синтеза углеродных нанотрубок CVDomna (см. рис. 1) получен углеродный наноматериал (см. рис. 2, 3), который применялся для экспериментов по очистке выбранных водно-этанольных смесей.

4. Выполнены экспериментальные исследования водно-этанольных смесей, взятых до и после очистки, методами молекулярной спектроскопии, хроматографии и химического анализа и установлен факт положительного влияния углеродных нанотрубок на процесс очистки спиртосодержащих жидкостей от вредных примесей [6].

*Коммерциализуемость научно-технических результатов.* В результате реализации проекта создана технология, позволяющая на основе модернизации способа очистки спиртосодержащей продукции повысить ее качество и потребительские свойства без принципиального изменения технологического процесса и существенных затрат.

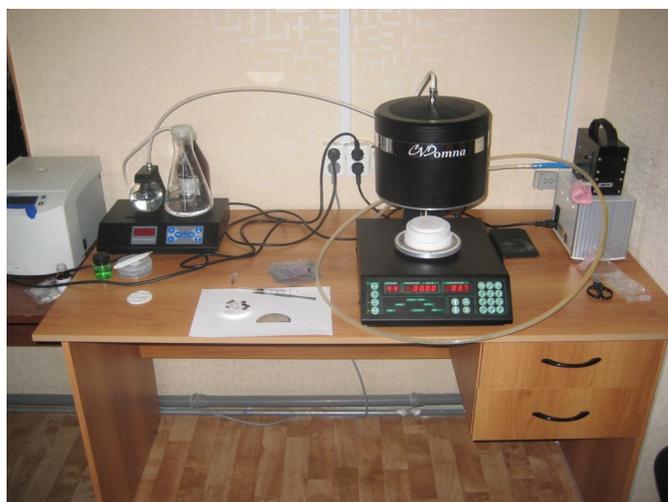
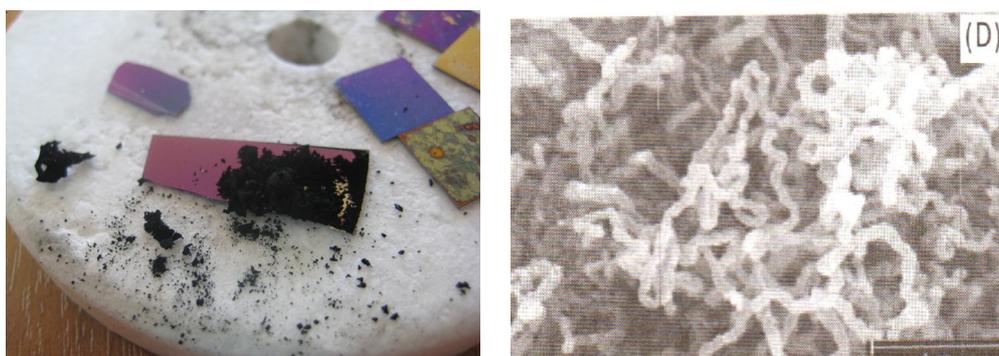


Рис. 1. Установка синтеза углеродных нанотрубок CVDomna



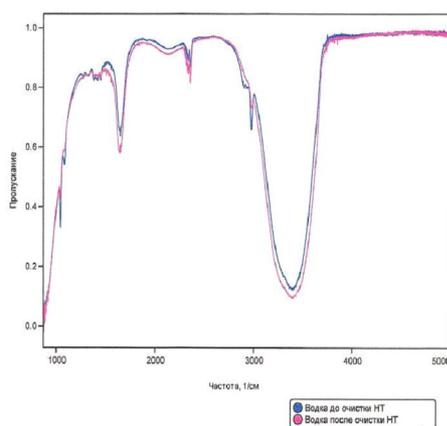
*a*

*б*

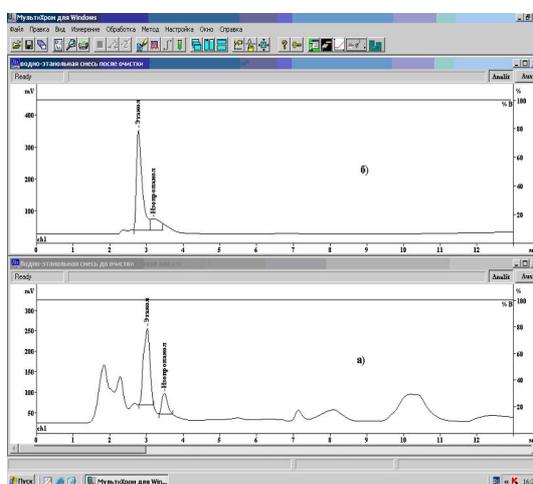
Рис. 2. Углеродный наноматериал, полученный с помощью установки CVDomna на тонкой никелевой пленке:

*a* – общий вид углеродного нанотрубного материала;

*б* – изображение углеродных нанотруб, полученное с помощью электронного микроскопа



а



б

Рис. 3. Совмещенные спектры водки «PSHENICHNAYA» до и после очистки углеродными нанотрубками, полученные методами:

а – ИК-спектроскопии; б – жидкостной хроматографии

*Стратегия продвижения товара.* Предлагаемая технология будет внедряться на предприятиях по производству спиртов на заключительном этапе производства, что не приведет к существенным изменениям технологического процесса и не повлечет особых затрат на включение созданных фильтров в цикл производства. В силу не очень высокой стоимости фильтра и возможности его многократного использования после очистки путем ультразвукового встряхивания, полученный продукт не будет значительно удорожаться, в то время как его качество (потребительское и безопасное с точки зрения здоровья) существенно возрастет. Поскольку предприятия по переработке спиртов и изготовления спиртосодержащей продукции есть практически в любом регионе страны, то число по-

требителей данной технологии очень велико, рынок сбыта технологии очень широк.

### Заключение

Авторским коллективом выполнены квантово-химические исследования процессов адсорбции молекул тяжелых спиртов (нормального и изомерного пропанола) на внешней поверхности однослойных углеродных нанотрубок. Доказана возможность реализации физической адсорбции. Проведены экспериментальные исследования их сорбционной активности по отношению к органическим соединениям. Было доказано положительное влияние УНТ на процесс очистки отдельной продукции ликероводочной промышленности.

Все это позволяет перейти к решению вопроса о разработке технологии очистки пищевых спиртосодержащих жидкостей с помощью углеродного наноматериала (нанотрубок и фуллеренов), обладающих уникальными сорбционными характеристиками.

Практические результаты работы могут быть использованы на предприятиях ликероводочной промышленности, предприятиях фармацевтической, электронной и оптической промышленности, предприятиях химической и пищевой промышленности. Теоретические обоснования данной работы рекомендуются к использованию при проведении научно-исследовательских и проектных работ в научных организациях и высших учебных заведениях, связанных с изучением технологий переработки и производства спиртосодержащих жидкостей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьячков, П. Н. Углеродные нанотрубки: структура, свойства и применение / П. Н. Дьячков. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. – 294 с.
2. Елецкий, А. В. Сорбционные свойства углеродных наноструктур / А. В. Елецкий // Успехи физических наук. – 2004. – Т. 174, № 11. – С. 1191–1231.
3. Запороцкова, И. В. Исследование механизма положительного влияния фуллерена на процессы восстановления пространственной памяти / И. В. Запороцкова, Л. А. Чернозатонский // Вестник новых медицинских технологий. – 2005. – Т. 12, № 2. – С. 117–118.
4. Запороцкова, И. В. Механизмы заполнения однослойных углеродных нанотрубок атомарным водородом / И. В. Запороцкова, Н. Г. Лебедев // Химическая физика. – 2006. – Т. 25, № 5. – С. 91–96.
5. Запороцкова, И. В. Углеродные и неуглеродные наноматериалы и композитные структуры на их основе: строение и электронные свойства : [монография] / И. В. Запороцкова. – Волгоград : Изд-во ВолГУ, 2009. – 490 с.
6. Исследование влияния углеродных нанотрубок на процесс очистки спиртосодержащих жидкостей / И. В. Запороцкова, Т. А. Ермакова, Е. В. Перевалова, А. Ю. Степанова, С. В. Борознин, А. В. Марутич, Н. П. Запороцкова // Вестн. Волгогр. гос. ун-та. Сер. 10, Инновационная деятельность. – 2009–2010. – № 4. – С. 42–51.
7. Харрис, П. Углеродные нанотрубки и родственные структуры. Новые материалы XXI века / П. Харрис. – М. : Техносфера, 2003. – 336 с.
8. Zaporotskova, I. V. A study on the mechanism of interaction between fullerene and cycloheximide for the explanation of beneficial effect of  $C_{60}$  on the processes of spatial memory restoration / I. V. Zaporotskova, L. A. Chernozatonskii // Mendelev Communication. – 2005. – P. 227–229.

### SORPTION ACTIVITY OF CARBON NANOTUBES AS A BASE FOR INNOVATION TECHNOLOGY OF WATER-ETHANOL MIXTURE CLEANING PROCESS

*N.P. Zaporotskova, I.V. Zaporotskova, T.A. Ermakova*

In this work quantum-mechanical calculations of the adsorption processes for heavy alcohols on the external surface of single-walled carbon nanotubes are carried out. Experimental researches of their sorption activity to organic compounds have been done. Positive influence of the carbon nanotubes on the water-ethanol mixture cleaning process has been proved.

**Key words:** *carbon nanomaterials, adsorption, cleaning, water-ethanol mixture, heavy alcohols, physical-chemical analysis.*