

**ВЛИЯНИЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (OCSiA) НА
ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ БЕНЗОЛ –
ДИИЗОПРОПИЛОВЫЙ ЭФИР ПРИ НОРМАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ**

Хакимов Д.Ш. – аспирант ТГПУ им. С. Айни

*Сафаров М.М. – доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией
физики Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова*

*Гуломов М.М. – кандидат технических наук, Технический колледж ТТУ
им. М.С. Осими*

*Тымеркаев Б.А. – д.ф-м.н., профессор, заведующий кафедрой общей физики КНИТУ
им. А.Н. Туполева*

Раджабов А.Р. – аспирант ТГПУ им. С. Айни

Давлатов Р.Д. – доктор PhD ТГПУ им. С. Айни

Для приготовления растворов использованы чистый бензол марки «х.ч.» (99,96 %) и чистый диизопропиловый эфир «х.ч.» (99,97%) [1;2]. Изучение термодинамических

свойств в том числе плотности органических и содержащих 0,02% нано частиц (углеродной одностенной нанотрубок OCSiAl), в значительной степени способствует выяснению механизма межмолекулярного взаимодействия в растворах дает возможность объяснения ряда физико-химически и тепловых явлений, связанных с молекулярном переносам, а так же развитию и совершенствованию современной теории жидкого состояния. Для составления физико-математической модели данные по плотности используются в качестве справочных данных.

Бензол (C₆H₆)-органическое химическое соединение, бесцветная жидкость со специфическим сладковатым запахом[1;2]. Простейший ароматический углеводород. Бензол входит в состав бензина, широко применяется в промышленности, является исходным сырьём для производства лекарств, различных пластмасс, синтетической резины, красителей. Изредка и в крайних случаях, ввиду высокой токсичности, бензол используют в качестве растворителя. Кроме того, бензол входит в состав бензина. Ввиду высокой токсичности содержание бензола в топливе ограничено современными стандартами.

Бензол - это горючая жидкость и в производстве используется как растворитель для чистки красок и лаков.

Физические и химические свойства диизопропилового эфира и их применение.

Растворимость в воде при нормальных условиях составляет 0,94 %, он образует азеотропную смесь, содержащую 95,5 % эфира и кипящую при 62,2°C. Проявляет свойства типичных простых эфиров.

Диизопропиловый эфир получают непосредственно из пропилена и воды в присутствии серной кислоты этерификацией пропилена водой, а также дегидратацией изопропилового спирта серной кислотой.

Диизопропиловый эфир применяют в следующих целях:

- растворение животных жиров;
- растворение растительных и минеральных масел;
- растворение природных и синтетических смол;
- депарафинизация смазочных масел;
- экстракция для отделения урана от продуктов его деления;
- выделение уксусной кислоты из водных растворов;
- повышение октанового числа бензинов (антидетонатор).
- приготовление дизельного топлива.

Углеродные нанотрубки. Схемы и структуры углеродных нанотрубок представлены на рисунках 1 и 2.

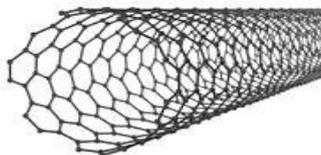


Рисунок 1. Одностенная углеродная нанотрубки.

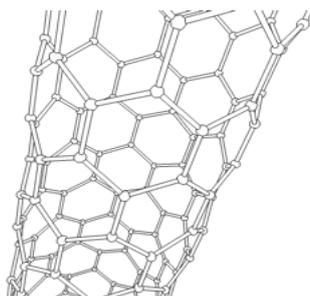


Рисунок 2. Структура углеродной нанотрубки.

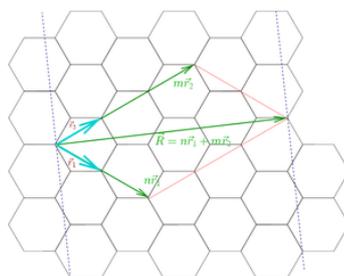


Рисунок 3. Основные параметра углеродной нанотрубки.

Для получения нанотрубки (n, m) графеновую плоскость надо разрезать по направлениям пунктирных линий и свернуть ленту вдоль направления вектора R . Любую однослойную углеродную нанотрубку можно представить в виде выкройки из листа графена (представляющего собой сетку из правильных шестиугольников, в вершинах которых расположены атомы углерода), которая задается парой чисел (n, m) , называемых индексами хиральности. Индексы хиральности (n, m) , при этом, являются координатами радиус-вектора R в заданной на графеновой плоскости косоугольной системе координат, определяющего ориентацию оси трубки относительно графеновой плоскости и ее диаметр.

Диаметр нанотрубки рассчитывается по диаметру цилиндра, длина окружности которого равна длине вектора R и выражается через индексы хиральности (n, m) как:

$$D = \frac{\sqrt{3}d_0}{\pi} \cdot \sqrt{m^2 + n^2 + mn}, \quad (1)$$

где: $d_0=0,142$ нм - расстояние между соседними атомами углерода в графитовой плоскости.

Другой способ обозначения хиральности состоит в указании угла α между направлением сворачивания нанотрубки и направлением, в котором соседние шестиугольники имеют общую сторону. При этом, выбирается наименьший угол такой, где $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$. Однако, в этом случае для полного описания геометрии нанотрубки необходимо указать её диаметр.

Связь между индексами хиральности (n, m) и углом α даётся соотношением:

$$\sin \alpha = \frac{m\sqrt{3}}{2\sqrt{m^2 + n^2 + mn}}. \quad (2)$$

По типу торцов углеродные нанотрубки бывают открытые; закрытые (заканчивающиеся полусферой, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена). По количеству слоев нанотрубки бывают однослойные (одностенные), многослойные (многостенные).

По электронным свойствам металлические ($n - m$ делится на 3) [3] полупроводниковые (прочие n и m)

На основе индексов хиральности одностенные нанотрубки делят на 3 типа:

$n = m$ - «кресло» или «зубчатые» (armchair), $\alpha = 30^\circ$

$n = 0$ - «зигзагообразные» (zigzag), $\alpha = 0^\circ$

$n \neq m$ - хиральные

Одностенные нанотрубки применяются в литий-ионных аккумуляторах, углепластиковых материалах, автомобильной промышленности. В кислотно-свинцовых аккумуляторах добавление одностенных нанотрубок значительно увеличивает число циклов перезарядки [4].

Промышленная технология синтеза одностенных углеродных нанотрубок OCSiAl, разработанная академиком РАН Михаилом Предтеченским, позволяет получать нанотрубки исключительно высокого качества и предлагать их на мировой рынок по цене, впервые делающей их применение в индустрии экономически доступным.

Структура типа «матрёшки» (russiandolls) представляет собой совокупность коаксиально вложенных друг в друга цилиндрических трубок. Другая разновидность этой структуры представляет собой совокупность вложенных друг в друга коаксиальных призм. Наконец, последняя из приведённых структур напоминает свиток (scroll). Для всех структур характерно значение расстояния между соседними графеновыми слоями, близкое к величине 0,34 нм, присущей расстоянию между соседними плоскостями кристаллического графита. Реализация той или иной структуры многостенных нанотрубок в конкретной экспериментальной ситуации зависит от условий синтеза. Анализ имеющихся экспериментальных данных указывает, что наиболее типичной структурой многостенных нанотрубок является структура с попеременно расположенными по длине участками типа «русской матрёшки» и «папье-маше». При этом «трубки» меньшего размера последовательно вложены в трубки большего размера [5]. В пользу такой модели говорят, например, факты по интеркалированию калия или хлорида железа в «межтрубочное» пространство и образование структур типа «бусы».

Для исследования плотности раствора (бензол + диизопропиловый эфир) подготовим образцы со следующим соотношением (табл. 1) составляющих.

Таблица 1. Основные характеристики исследуемых растворов

с, %	№1	№2	№3	№4	№5	№6
$\rho_{\text{экс.}}$	886,8	856,4	827,2	800,8	775,6	750
$\rho_{\text{рас.}}$	884,2	857,0	829,7	802,5	775,3	748,1
$\Delta, \%$	0.29	-0.07	-0.3	-0.21	0.038	0.25
Общая среднеарифметическая погрешность расчета плотности по формуле (1) равна $\sim(0.002)\%$						

Образец №1 - (99,98% C_6H_6 + 0,02% OCSiAl); Образец №2 - (79,968% C_6H_6 + 19,996% $C_6H_{14}O$ + 0,02% OCSiAl); Образец №3 - (59,976% C_6H_6 + 39,984% $C_6H_{14}O$ + 0,02% OCSiAl); Образец №4 - (39,984% C_6H_6 + 59,976% $C_6H_{14}O$ + 0,02% OCSiAl); Образец №5 - (19,996% C_6H_6 + 79,968% $C_6H_{14}O$ + 0,02% OCSiAl); Образец №6 - (99,98% $C_6H_{14}O$ + 0,02% OCSiAl).

Для измерения плотности исследуемых растворов при атмосферном давлении и комнатной температуре нами использован пикнометрический метод (объем пикнометра равен 25 мл) и денсиметр. Общая относительная погрешность измерения плотности растворов при доверительной вероятности $\alpha=0,95$ равна 0,005% [6;7]. Надо отметить, что подобная работа нами выполнена и опубликована в литературах [8;9].

Для убеждения в достоверности полученных данных по плотности на экспериментальных установках проведены контрольные измерения. В качестве контрольных образцов использованы вода и толуол. Результаты контрольных измерений плотности в пределах погрешности опыта совпадают с литературными данными.

На основе значений таблицы 1, нами построен график зависимости плотности исследуемых растворов от концентрации бензола.

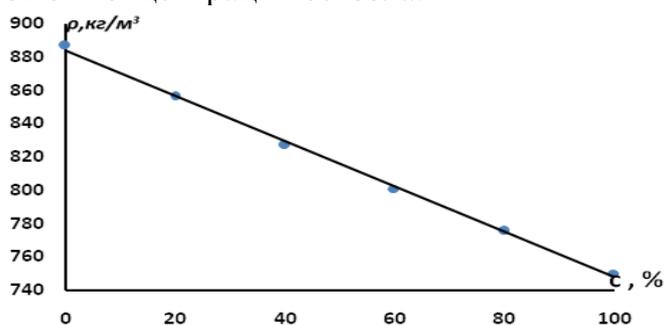


Рисунок 4. Зависимость плотности исследуемых образцов от концентрации диизопропилового эфира.

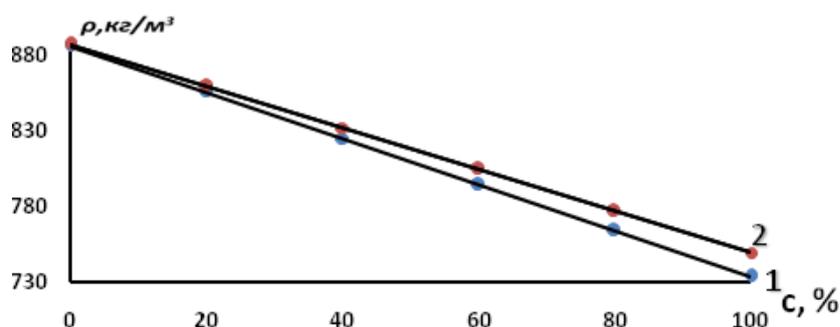


Рисунок 5. Зависимость плотности растворов системы бензола и диизопро-пилового эфира с добавкой одностенной углеродной нанотрубки(OCSiAl) и без добавки. 1- исследуемые системы без добавки одностенной углеродной нанотрубки(OCSiAl); 2- исследуемые системы 0,02% добавки одностенной углеродной нанотрубки(OCSiAl).

$$\rho = -1,3611c + 884,19, \text{ кг/м}^3 \quad (3)$$

Как видно из рисунках 4, 5 и таблицы 1 плотность исследуемых растворов системы (бензол и диизопропиловый эфир), также с добавкой 0,02% (OCSiAl) с ростом концентрации бензола уменьшается по линейному закону.

Для обобщения полученных данных по плотности исследуемых образцов нами использован закон соответствующих состояний: для образцов без добавки одностенной углеродной нанотрубки(OCSiAl).

$$\rho = -1,52c + 886, \text{ кг/м}^3. \quad (4)$$

для образцов с добавкой одностенной углеродной нанотрубки(OCSiAl).

$$\rho = -1,3679c + 886,8, \text{ кг/м}^3. \quad (5)$$

Как видно из графика, приведённого на рисунке 5, добавки нанотрубки(OCSiAl) увеличивают плотность коллоидных растворов системы (бензол-диизопропиловый эфир –нанотрубка), которая растёт, например, (20% бензол -80% диизопропиловый эфир - 0,02%нанотрубок) - 1,9%, а для образца (100% диизопропиловый эфир - 0,02% нанотрубок) - 2,2%.

ТАЪСИРИ НАНОНАЙЧАИ ЯҚҚАБАТАИ КАРБОНӢ (OCSiAl) БА ТАҒИЙРӢБИИ ЗИЧИИ МАҲЛУЛҲОИ БЕНЗОЛ ВА ЭФИРИ ДИИЗОПРОПИЛ ДАР ҲОЛАТИ НОРМАЛӢ.

Зимни ин таҳқиқот натиҷаҳои таҷрибавии муайян намудани зичии системаи бензол эфири диизопропили нанонайчаи карбони (ocsі Al) нишон дода шудааст.

Таҷхизоти таҷрибавӣ барои чен кардани зичии намунаҳо асосан аз қисмати шишагӣ (пробирка), қаровулаки кварсӣ, тарозуи аналитикии ВЛА-200Мг иборат мебошад.

Зичии системаҳои омӯхташуда бо усули баркашидани гидростатикӣ ба амал оварда шудааст.

Бо истифода аз назарияи термодинамикии монандии нишондодҳои таҷрибавӣ, муодилаҳои эмпирикӣ ҳосил карда шудааст, ки ба воситаи онҳо зичии рақамии маҳлулҳоро бо саҳеҳияти 0,3 % ҳисоб кардан мумкин аст.

Калидвожаҳо: бензол, эфири диизопропил, найчаи якҷабатаи карбонӣ, кремний алюминий (OCSiAl), зичӣ, муодилаи эмперикӣ.

ВЛИЯНИЕ ОДНОСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК (OCSiAl) НА ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРОВ СИСТЕМЫ БЕНЗОЛ – ДИИЗОПРОПИЛОВЫЙ ЭФИР ПРИ НОРМАЛЬНОМ СОСТОЯНИИ

В работе приводятся результаты экспериментального определения плотности системы бензол, диизопропиловый эфир и углеродная нанотрубка (OCSiAl)..

Экспериментальная установка для измерения плотности образцов в основном состоит из стеклянной ячейки (пробирки), кварцевого паплавка аналитических весов ВЛА – 200 Мг. Определение плотности изученных систем осуществлено методом гидростатического взвешивания.

Используя теорию термодинамического подобия экспериментальных данных, получены эмпирические уравнения с помощью которых можно численно определить плотность растворов с погрешностью 0,3%.

Ключевые слова: бензол, диизопропиловый эфир, OCSiAl, нанотрубка, гидростатическое взвешивание, плотность, эмпирические уравнения.

INFLUENCE OF SINGLE-WALLED CARBON NANOTUBES (OCSiAl) ON CHANGING THE DENSITY OF SOLUTIONS OF THE SYSTEM BENZEN - DIISOPROPYL ETHER AT NORMAL STATE

The paper presents the results of experimental determination of the density of the system benzene, diisopropyl ether and carbon nanotube (OCSiAl)..The experimental setup for measuring the density of samples mainly consists of a glass cell (tube), quartz papermaking analytical balance VLA – 200 Mg. Determination of the density of the studied systems was carried out by hydrostatic weighing.

Using the theory of thermodynamic similarity of experimental data, empirical equations are obtained by which the density of solutions with an error of 0.3% can be numerically determined.

Key words: benzene, diisopropyl ether, OCSiAl, nanotube, hydrostatic weighing, density, empirical equations.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хвостов В.Х. Исп. литература для статьи «диизопропиловый эфир»: Ullmanns Encyclopadie, 4 Aufl., Bd 8, Weinheim / В.Х. Хвостов. - 1974. - Р. 146 - 157.
2. Даффа-Меди Химическая энциклопедия / И.Л. Кнунянц [и др.]. - М.: Советская энциклопедия, 1990. - Т.2. - 671 с.
3. Noriaki Hamada. New onedimensional conductors: Graphitic microtubules / Hamada Noriaki, Sawada Shin-ichi, Oshiyama Atsushi // Physical Review Letters. - 1992. - Т. 68, вып. 10. - С. 1579 - 1581.
4. Елецкий А. В. Углеродные нанотрубки / А. В. Елецкий. - УФН. - 1997. - Т. 167, № 9. - С. 955.
5. Александр Грек. Огонь, вода и нанотрубки / Грек Александр. - Популярная механика. - 2017. - № 1. - С. 39 - 47.
6. Сафаров М.М. Теплофизические свойства простых эфиров и водных растворов гидразина в зависимости от температуры и давления: дисс... д-ра техн. наук / Махмадали Махмадиевич Сафаров. - Душанбе, 1993. - 495 с.
7. Зарипова М.А. Влияние наночастиц на изменение теплофизических, термодинамических свойств некоторых кислородосодержащих органических жидкостей при различных температурах и давлениях: дисс... д-ра техн. наук / Мохира Абдусаломовна Зарипова. - Душанбе, 2016. - 517 с.
8. Теплофизические свойства некоторых нанокуглеродных материалов / М.М. Сафаров [и др.] // Вестник Таджикского национального университета (научный журнал). - Душанбе.: Сино, 2016. - №1/4(216). - С. 40 - 44.

9. Взаимосвязь теплопроводности и коэффициента массоотдачи ириди-евых катализаторов на основе гранулированной пористой окиси алюминия / М.М. Сафаров [и др.] // Вестник Таджикского национального университета, (научный журнал). – Душанбе.: Сино, 2016. -№ 1/4(216). - С.56 - 61.

Сведения об авторах: *Хакимов Дилшод Шодиевич* – Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, аспирант **Адрес:** 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе пр. Рудаки 121. **Телефон:** (+992) 988-66-68-33. **E-mail:** dilshod.hakimov92@mail.ru.

Сафаров Махмадали Махмадиевич – филиал МГУ им. М.В. Ломоносова в г. Душанбе доктор технических наук, профессор, , заведующий лабораторией физики. **Адрес:** 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе улица Бохтар 35/1. **Телефон:** (+992) 931-63-15-85. **E-mail:** mahmad1 @list.ru

Гуломов Масрур Мирзохонович – Технический колледж Таджикского технического университета им. М.С. Осими, кандидат технических наук, **Адрес:** 734042, Республика Таджикистан, г. Душанбе, улица Айни, 41. **Телефон:** (+992)933-20-59-61. **E-mail:** masrur.gulomov.88@mail.ru.

Тимеркаев Борис Ахуневич – Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики. **Адрес:** г. Казань ул. Четаева, д. 18, уд. 360. **Телефон:** +7 (843) 231 02 23. **E-mail:** VATimerkaev @kai.ru.

Раджабов Абдуджаббор Рuzимадович – Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, аспирант. **Адрес:** 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 121. **Телефон:** (+992) 98-713-33-32. **E-mail:** Rajabov.A1990@mail.ru.

Давлатов Рустамдzhон Джаборович – Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, доктор PhD. **Адрес:** 734003, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 121. **Телефон:** (+992) 985-39-49-59. **E-mail:** rustam.Gabbor @mail.ru.

Information about authors: *Khakimov Dilshod Shodievich* – Tajik State Pedagogical University by named S. Ayni, graduate student. **Address:** 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudakiave. 121. **Phone:** (+992) 988-66-68-33. **E-mail:** dilshod.hakimov92 @ mail.ru.

Safarov Mahmadali Makhmadievich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Worker of Science and Technology of Tajikistan, Branch of Moscow State University by named M.V. Lomonosov in Dushanbe, head. laboratory of physics. **Address:** 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe 35/1 Bokhtar Street. **Phone:** (+992) 931-63-15-85. **E-mail:** mahmad1 @ list.ru

Masrour Mirzohonovich Gulomov – Technical College of the Tajik Technical University by named M.S. Osimi, Kondidat Technical Sciences,. **Address:** 734042, Republic of Tajikistan, Dushanbe Aini 41 Street. **Phone:** (+992) 933-20-59-61. **E-mail:** masrur.gulomov.88@mail.ru.

Timerkaev Boris Akhunovich – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Head. Department of General Physics, Kazan National Research Technical University. A.N. Tupolev. **Address:** Kazan, st.Chetaev, d. 18, ud. 360. **Phone:** +7 (843) 231 02 23. **E-mail:** VATimerkaev@kai.ru.

Radjabov Abdudzhabor Ruzimadovich – Tajik State Pedagogical University by named S. Ayni, graduate student. **Address:** 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudaki Ave. 121. **Phone:** (+992) 98-713-33-32. **E-mail:** Rajabov.A @ mail.ru.

Rustamdzhon Dzhaborovich Davlatov – Tajik State Pedagogical University by named S. Ayni, Dr.PhD. **Address:** 734003, Republic of Tajikistan, Dushanbe, Rudakiave. 121. **Phone:** (+992) 985-39-49-59. **E-mail:** rustam.Gabbor @ mail.ru