

**НАНОРОЗМІРНІ ВУГЛЕЦЕВІ МАТЕРІАЛИ  
ЯК АДСОРБЕРИ ШКІДЛИВИХ ДЛЯ ДОВКІЛЛЯ  
НЕОРГАНІЧНИХ ОКСИДНИХ СПОЛУК**

**В. В. БОЙКО**, кандидат фізико-математичних наук, доцент  
*Національний університет біоресурсів  
і природокористування України*

*E-mail: boyko\_v@nubip.edu.ua*

**С. Г. НЕДІЛЬКО**, доктор фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник

*E-mail: SNedilko@univ.kiev.ua*

**В. І. БОРИСЮК**, аспірант

*E-mail: borysyukvictor@gmail.com*

**Ю. А. ХИЖНИЙ**, кандидат фізико-математичних наук,  
старший науковий співробітник

*E-mail: hizhnyi@univ.kiev.ua*

**Київський національний університет імені Тараса Шевченка**

**Анотація.** *Методом теоретичного моделювання проаналізовано взаємодію між вуглецевими нанотрубками (ВНТ) конфігурації (3,3) і (5,5) та молекулами двох типів: лінійні двоатомні молекули галогенідів водню  $HX = HF, HCl, HBr$  і молекулярні хроматні оксианіони  $CrO_4^{2-}$ . Подібний теоретичний прогноз має важливе практичне значення, оскільки дає змогу оцінити перспективи використання вуглецевих нанотрубок для видалення зазначених молекул із газового середовища і очистки, тим самим, довкілля, забрудненого промисловими відходами.*

*Розрахунки проводилися за допомогою програмного пакета «Gaussian 03» із використанням теорії функціоналу густини за базисних наборів  $cc-pVDZ$  (для атомів хрому та кисню) та  $6-31G^*$  (для решти атомів) із нелокальним кореляційним функціоналом  $B3LYP$ .*

*Результати розрахунків свідчать про досить низькі значення енергій зв'язку між адсорбованими молекулами  $HX$  ( $X = F, Cl, Br$ ) та нелегованими ВНТ, у межах від  $-0.07$  до  $-0.2$  еВ, тоді як легування бором дозволяє посилити зв'язок до значень  $-2,13$  еВ (система  $VNT(3,3)-B-HBr$ ).*

*Дослідження взаємодії молекулярного аніона  $CrO_4^{2-}$  із ВНТ обох типів показали, що легування бором не сприяє зміцненню адсорбції молекул. Вплив домішок азоту, навпаки, є позитивним і призводить до зростання енергії зв'язку (у середньому на  $-3,6$  еВ) порівняно з нелегованими системами  $VNT-CrO_4^{2-}$ .*

*Одержані дані сприяють розумінню механізмів адсорбції молекул поверхнею вуглецевих нанотрубок та свідчать про можливість практичного використання останніх для очистки матеріалів та відходів промислового виробництва від шкідливих для людини*

забруднень, якими є галогеніди водню та сполуки, що містять шестивалентний хром.

**Ключові слова:** вуглець, нанотрубка, адсорбція

**Актуальність.** Вуглецеві нанотрубки – це протяжні циліндричні структури діаметром від одного до декількох десятків нанометрів, утворені гексагональними кільцями атомів вуглецю. Їх довжина значно перевищує діаметр і може бути в межах від мікрона до декількох сантиметрів. Вуглецеві нанотрубки (ВНТ) можна розглядати як такі, що утворені однією або кількома, згорнутими в трубку, графітовими площинами. Зазвичай, ВНТ є відкритим тільки з одного кінця, а на іншому вони закінчуються напівсферичною голівкою.

Згадані структура і морфологія ВНТ зумовлюють їх унікальні фізичні властивості та можливості різнопланового застосування. Зокрема, можна зазначити такі: у механіці (надміцні композиційні нитки); у мікроелектроніці (транзистори, нанодроти, провідні поверхні); у капілярній техніці паливні елементи (капсули для активних молекул, металів і газів); сенсори молекул, атомів та іонів у газовому середовищі.

Вуглецеві матеріали, і серед них ВНТ, використовуються і як сорбенти для вирішення різноманітних енергетичних та екологічних питань. У цьому напрямі досліджень ВНТ привертають особливу увагу завдяки їх пористій структурі та високій питомій поверхні, що досягає 2000 м<sup>2</sup>/г. Зокрема, ефективна сорбція водню поверхнею ВНТ сприяє активній розробці на них водневих паливних елементів. Як гарний сорбент, ВНТ здатні адсорбувати різноманітні шкідливі забруднення довкілля – із повітря та води, а також із промислових газоподібних та рідких відходів. Отже, завдяки адсорбційним властивостям, ВНТ можна використовувати у промисловому масштабі для видалення небажаних компонентів та очищення матеріалів.

Вивченню механізмів і характеристик адсорбції молекулярних речовин поверхнею ВНТ присвячено значну кількість робіт, причому, як експериментального, так і технологічного плану. Разом із тим, теоретичні дослідження умов і механізмів сорбції різних сполук поверхнею ВНТ є також важливими, адже їх результати дають змогу прогнозувати не тільки характеристики, але й саму можливість адсорбції.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогодні виконано значну кількість теоретичних досліджень адсорбції молекул та молекулярних радикалів поверхнею ВНТ. Значну увагу в таких дослідженнях було приділено дослідженням ВНТ, легованих атомами бору або ж азоту, адже було з'ясовано, що така модифікація підвищує здатність ВНТ адсорбувати молекули газів [1, 2].

**Мета дослідження.** Для перевірки та підтвердження згаданих вище теоретичних передбачень у цій роботі ми провели теоретичне моделювання адсорбції на поверхні ВНТ молекул двох типів різної конфігурації та заряду, а саме: нейтральних двоатомних молекул  $HX$ , де  $X = F, Cl, Br$ , та двозарядних п'ятиатомних молекулярних аніонів  $CrO_4^{2-}$ .

Галогеніди водню,  $HX$  ( $X = F, Cl, Br$ ) широко використовуються у промисловості як реагенти або ж як побічні продукти. Водночас, гази цих сполук є дуже токсичними і шкідливими для біологічних організмів, навіть за їх низьких концентрацій [3, 4].

Видалення молекул, які містять катіони хрому,  $Cr^{6+}$ , також є важливою задачею, оскільки вони є складовими різноманітних матеріалів, що широко використовуються у промислових технологіях, а отже, завжди існує загроза забруднення ними довкілля. ВНТ, як адсорбери  $Cr^{6+}$ -сполук, уже досліджувалися протягом останнього десятиліття і було показано ефективність такого використання [5, 6]. Однак, за значної кількості експериментальних досліджень, механізм адсорбції в системі «ВНТ – ( $Cr^{6+}$ -молекула)», де кривизна поверхні нанотрубки відіграє не останню роль, як правило, залишається нез'ясованим. Ця наша робота мала на меті певним чином наблизитися до висвітлення згаданих питань.

**Матеріали і методи дослідження.** Вуглецеві нанотрубки в розрахунках моделювалися, як молекулярні кластери, що складаються з 78 та 130 атомів вуглецю для ВНТ (3,3) та ВНТ (5,5), відповідно. Для того, щоб компенсувати обірвані  $C - C$  зв'язки, 12/20 (ВНТ(3,3) / ВНТ(5,3)) крайніх атомів вуглецю заміщені в кластері атомами водню. Тому остаточна формула кластерів виглядає як  $C_{66}H_{12}/C_{110}H_{20}$ . Подібне моделювання обірваних зв'язків широко використовується в розрахунках при моделюванні ВНТ з молекулярними кластерами [7].

Для моделювання домішкових систем один атом вуглецю в центральному вуглецевому «кільці» кластера замінювали на атом бору або ж азоту.

Геометрична оптимізація починалася з позиції, коли молекули  $HX$  ( $X = F, Cl, Br$ ) розташовувалися на відстані  $1.5 \text{ \AA}$  від поверхні ВНТ, зв'язок  $H - X$  було зорієнтовано паралельно до вісі ВНТ та найближче до атома бору або азоту.

Перед геометричною оптимізацією молекулярного аніона  $CrO_4^{2-}$  відстань між ним та поверхнею ВНТ становила  $1,8 \text{ \AA}$  у безпосередній близькості від атомів бору або ж азоту.

Енергії зв'язку системи «ВНТ-молекула» обчислювалися згідно з виразом:

$$E_b = E_{B(N)-\text{ВНТ-Mol}} - E_{B(N)-\text{ВНТ}} - E_{\text{Mol}}$$

Очевидно, що стабільній конфігурації системи, тобто випадку адсорбції молекули на поверхні ВНТ, відповідає від'ємне значення  $E_b$ .

Зміну заряду адсорбованих молекул,  $\Delta q$ , розраховували як різницю їх зарядів у «вільному»: 0 та -2 для молекул  $HX$  та  $CrO_4^{2-}$ , відповідно, та адсорбованому стані:  $q$ . Останній отримували як алгебраїчну суму зарядів атомів молекул:  $H$  і  $X$  ( $q_b = q_H + q_X$ ) та  $CrO_4^{2-}$  ( $q = q_{O_1} + q_{O_2} + q_{O_3} + q_{O_4} + q_{Cr}$ ) за Маллікеном. Негативне значення заряду різниці заряду для адсорбату означає передачу негативного електричного заряду (електронів) від ВНТ до молекули.

Просторові розподіли хвильових функцій розраховані для молекулярних орбіталей (МО), що були обрані як найвищі заповнені (НОМО) для кластерів ВНТ (3,3) і НОМО-1 для ВНТ (5,5).

При розрахунках домішкових кластерів до системи «кластер ВНТ + адсорбат» «вносилися» додаткові заряди:  $-1e$  та  $1e$ , відповідно, для випадку домішки бору та азоту. Таким додаванням заряду до кластера було змодельовано локальну компенсацію недостачі (надлишку) заряду одного електрона, що виникає при неізовалентному заміщенні атома вуглецю атомами бору та азоту, відповідно.

Загальний заряд системи «нелегований кластер ВНТ + аніон  $CrO_4^{2-}$ » покладался в розрахунках таким, що дорівнює  $-2e$ , оскільки нелегована ВНТ вважається зарядово-нейтральною. Водночас, додаткові заряди,  $-3e$  та  $-1e$  були присвоєні в розрахунках системам, до складу яких входять ВНТ, леговані бором та азотом, відповідно.

Довжина реальних нанотрубок, як правило, перевищує їхній діаметр на декілька порядків і вплив бічних поверхонь на властивості переважаючої частини поверхні ВНТ, очевидно, має бути несуттєвим. Звідси випливає очевидна вимога щодо мінімальної довжини кластерів: кластер, який моделює в розрахунках реальну ВНТ, повинен бути достатньо довгим, щоб вплив крайніх частин на центральну частину ВНТ, де розташовані домішки бору (азоту) та адсорбати НХ, був малим. Для перевірки цього критерію, у нашому випадку, було проведено додаткові геометрично-оптимізовані розрахунки нелегованих кластерів ВНТ (3,3) та ВНТ (5,5) (рис. 1).

Як свідчать ці додаткові розрахунки, додавання ще двох «кілець» вуглецю до обох сторін кластерів ВНТ(3,3) та ВНТ(5,5) несуттєво (в межах  $\sim 0,8\%$  від величини) змінює відстань С–С зв'язків у центральній області кластерів.

Геометрично-оптимізовані розрахунки проводилися за допомогою програмного пакета «Gaussian 03» з використанням DFT (теорії функціоналу густини) [8] за базисних наборів  $cc-pVDZ$  (для атомів хрому та кисню) та  $6-31G^*$  (для решти атомів) із нелокальним кореляційним функціоналом B3LYP. При розрахунках використовувався базисний набір та наближення для обмінно-кореляційного потенціалу, які є типовими для розрахункових досліджень адсорбції молекул на поверхні ВНТ, що проводилися впродовж останніх років [7].

**Результати дослідження та їх обговорення.** Для всіх розглянутих випадків адсорбції на поверхні нелегованих кластерів, "вісь" молекули НХ займає положення практично перпендикулярне вуглецевій поверхні (рис. 2).

Наші розрахунки свідчать про відносно низькі значення енергій зв'язку,  $E_b$ , між адсорбованими молекулами НХ ( $X = F, Cl, Br$ ) та нелегованими ВНТ: у межах від  $-0,07$  до  $-0,2$  еВ. Найбільшим значенням величини  $E_b$  характеризується система CNT (3,3) - HF ( $E_b = 0,2$  еВ) за заряду адсорбату  $q_b = 0,038e$ . Водночас, найбільшим зміщенням заряду до адсорбату,  $q_b = 0,078e$ , характеризується система CNT (3,3)-HCl, тоді як енергія зв'язку тут є нижчою:  $E_b = -0,14$  еВ. Із порівняння цих даних можемо зробити висновок, що міцніший зв'язок (більше від значення енергії зв'язку) зумовлений характером електронних орбіталей, а не кулонівською взаємодією молекули із вуглецевою нанотрубкою. Зазначене підтверджує нижченаведений на рис. 2а

розподіл електронних хвильових функцій для цих випадків, порівняно з таким самим розподілом для ВНТ (3,3) (CNT (3,3)).

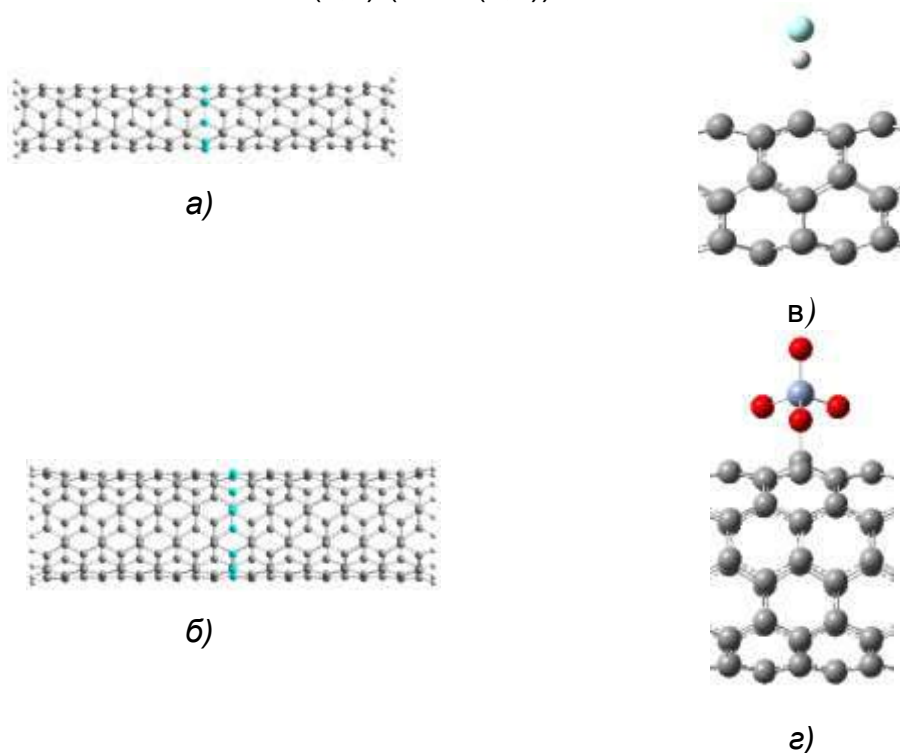


Рис. 1. Кластери нелегованих ВНТ (3,3) (а) і ВНТ (5,5) (б) за типових положень адсорбованих НХ (в), та  $\text{CrO}_4^{2-}$  (г) на поверхні ВНТ із геометрично оптимізованими положеннями атомів вуглецю

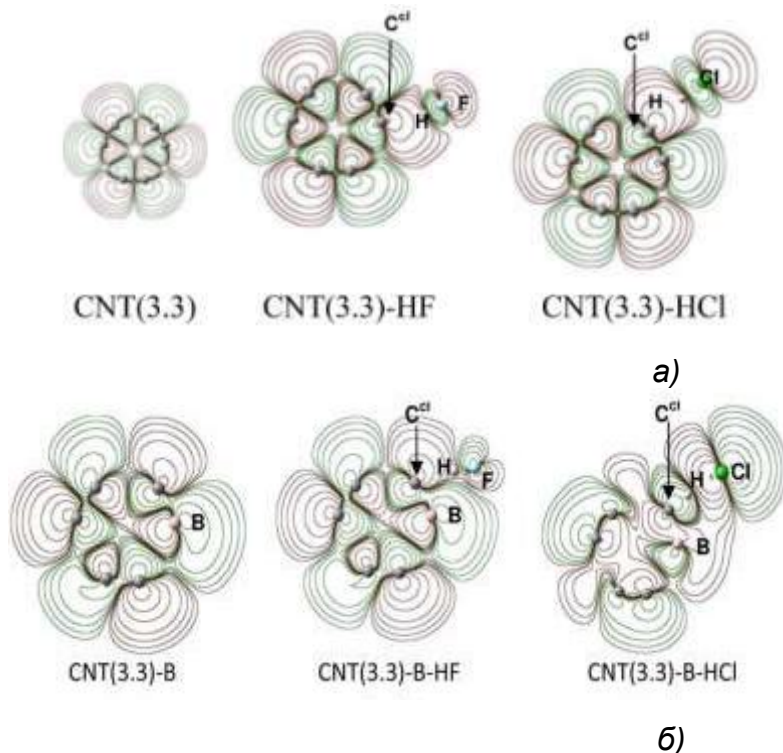


Рис. 2. Просторовий розподіл хвильових функцій для систем CNT (3,3)-HX (а) та CNT (3,3)-B-HX (X=F, Cl) (б)

Як видно з рис. 2а, адсорбовані молекули НХ лише дещо збурюють хвильові функції нелегованих кластерів ВНТ (3,3), контури яких відповідають антизв'язуючим рртп\* зв'язкам між атомами вуглецю. Цей результат свідчить про незначну роль ковалентного зв'язку між молекулами НХ та нелегованими ВНТ.

ВНТ, леговані бором та азотом. Результати розрахунків щодо адсорбції молекул НХ на поверхні вуглецевих нанотрубок, легованих бором, ВНТ-В(CNT-B), показують зовсім іншу ситуацію порівняно з нелегованими трубками. Дійсно, енергії зв'язку між ВНТ-В та молекулами адсорбату знаходяться в межах від -0,14 до -2,13eV (випадок ВНТ-В-HBr), і ці значення є набагато вищими, ніж відповідні енергії зв'язку між молекулами НХ та нелегованими ВНТ.

В усіх розглянутих випадках адсорбції НХ на поверхні легованих бором ВНТ атом Н молекули адсорбату розташовується ближче до одного з атомів С нанотрубки, ніж до домішкового атому бору. Крім того, можна стверджувати, що в цих випадках адсорбції на легованих бором ВНТ між атомами вуглецю нанотрубки та Н – атомами адсорбату утворюються достатньо міцні ковалентні зв'язки.

Аналогічні розрахунки для ВНТ (3,3) та ВНТ (5,5), легованих азотом, показали що, розраховані значення енергії зв'язку є відносно малими (не перевищують -0,41 eV). Відносно малими також є заряди на адсорбатах (не перевищують |0,05| e). Хоча для деяких випадків (ВНТ (3,3) -N-HF, ВНТ (5,5)-N-HF, та ВНТ (5,5)-N-HBr) значення  $E_b$  потрапляють до діапазону енергій низького рівня водневого зв'язку, в усіх інших випадках адсорбції енергії зв'язку є типовими для Ван-дер-Ваальсівської взаємодії (енергія зв'язку в проміжку від -0,01 до -0,1 eV), тобто зв'язок молекули із ВНТ є слабким.

Таким чином, ми маємо підстави вважати, що розглянуті вуглецеві матеріали, леговані бором, можуть утворювати достатньо стійкі хімічні зв'язки з молекулами HCl та HBr.

Залежність енергії зв'язку між адсорбентом та ВНТ від типу легування, бор чи азот, спостерігається і для випадку молекули CrO42-. Тут розрахунки показали зниження енергії зв'язку (у середньому на ~ -2,1 eV) для конфігурацій, легованих бором, та збільшення енергії зв'язку (у середньому на ~ -3,6 eV) для конфігурацій, легованих азотом, порівняно з нелегованими конфігураціями. Так, розраховані значення енергії зв'язку між ВНТ та молекулами хроматного аніона знаходяться в межах від -1,77 до -2,74 eV або ж у межах від -7,12 до -7,85 eV для випадків ВНТ-В та ВНТ-N, відповідно. Самі ж значення енергії зв'язку є типовими для ковалентних зв'язків.

**Висновки і перспективи.** Виконані теоретичні дослідження взаємодії молекул НХ (X = F, Cl, Br) та CrO42- із поверхнею вуглецевих нанотрубок ВНТ (3,3), ВНТ (5,5), як нелегованих, так і легованих бором, В, або ж азотом, N, дають змогу оцінити характеристики адсорбції і прогнозувати утворення стійких зв'язків між зазначеними молекулами та вуглецевими нанотрубками в певних випадках.

Так, лінійні двоатомні молекули НХ (X = F, Cl, Br) утворюють відносно міцні зв'язки із нанотрубками конфігурації (3,3), легованими

бором. Найбільш сильним зв'язком із енергією зв'язку  $E_b = -2,13\text{eV}$  характеризується система ВНТ (3,3)-В-НВr.

Нелеговані або ж леговані азотом вуглецеві наноструктури не є привабливими для їх використання як адсорберів молекул галогенідів водню, тоді як ВНТ леговані азотом, навпаки, найкращим чином мають ув'язувати молекулярні аніони  $\text{CrO}_4^{2-}$ .

Одержані результати підтверджують раніше отримані дані щодо перспективності легування вуглецевих нанотрубок бором або ж азотом з метою покращення їх адсорбційних властивостей щодо нейтральних та заряджених молекул. Разом із тим, результати теоретичного моделювання адсорбції молекул галогенідів водню та молекулярних аніонів  $\text{CrO}_4^{2-}$  потребують експериментального підтвердження в майбутньому.

### Список літератури

1. Bai, L., & Zhou, Z. (2007). Computational study of B-or N-doped single-walled carbon nanotubes as  $\text{NH}_3$  and  $\text{NO}_2$  sensors. *Carbon*, 45 (10), 2105–2110.
2. An, W., & Turner, C. H. (2009). Electronic structure calculations of gas adsorption on boron-doped carbon nanotubes sensitized with tungsten. *Chemical Physics Letters*, 482 (4–6), 274–280.
3. Wexler, P., Anderson, B., Peyster, A., Gad, S.C., Hakkinen, P.J. B., Kamrin, M., Locey, B., Mehendale, H. M., Pope, C., Shugart, L. (2005). *Encyclopedia of Toxicology*, 2nd ed., Oxford, United Kingdom: Academic Press.
4. Karama, J. P. B., Bere, A., Lemonon, J., Daho, T., Dissa, A., Rogaume, Y., & Koulidiati, J. (2013). Modeling the emission of hydrogen chloride and free chlorine from the thermal treatment of polyvinyl chloride-(PVC-) based plastic materials. *Journal of analytical and applied pyrolysis*, 101, 209–214.
5. Gupta, V. K., Moradi, O., Tyagi, I., Agarwal, S., Sadegh, H., Shahryari-Ghoshekandi, R, et al. Study on theremoval of heavy metal ions from industry waste by carbon nanotubes: Effect of the surfacemodification: a review. *Crit Rev Environ Sci Technol*. 2016; 46:93–118.
6. Jung, C., Heo, J., Han, J., Her, N., Lee, S-J, Oh, J., et al. Hexavalent chromium removal by various adsorbents: Powdered activated carbon, chitosan, and single/multi-walled carbon nanotubes. *Sep. Purif. Technol*. 2013; 106:63–71.
7. Hizhnyi, Y., Nedilko, S., Borysiuk, V., & Shyichuk, A. (2017). Ab Initio Computational Study of Chromate Molecular Anion Adsorption on the Surfaces of Pristine and B-or N-Doped Carbon Nanotubes and Graphene. *Nanoscalere search letters*, 12 (1), 71.
8. Gaussian 03 / M. J. Frisch [et al.], Wallingford, CT: Gaussian, Inc., 2003.

### НАНОРАЗМЕРНЫЕ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИЕ МАТЕРИАЛЫ КАК АДСОРБЕРЫ ВРЕДНЫХ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НЕОРГАНИЧЕСКИХ ОКСИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В. В. Бойко,  
С. Г. Недилько  
В. И. Борисюк,  
Ю. А. Хижный

**Аннотация.** Методом теоретического моделирования проанализировано взаимодействие между углеродными нанотрубками (УНТ) конфигурации (3,3) и (5,5) и молекулами двух типов: линейными двухатомными молекулами галогенидов водорода  $HX=HF$ ,  $HCl$ ,  $HBr$  и молекулярными хроматными оксианионами  $CrO_4^{2-}$ . Подобный теоретический прогноз имеет важное практическое значение, так как позволяет оценить перспективы использования углеродных нанотрубок для удаления указанных молекул с газовой среды и очистки тем самым окружающей среды, загрязненной промышленными отходами.

Расчеты проводились с помощью программного пакета «Gaussian 03» с использованием теории функционала плотности по базисным наборам  $ss-pVDZ$  (для атомов хрома и кислорода) и  $6-31G^*$  (для остальных атомов) с нелокальным корреляционным функционалом  $B3LYP$ .

Результаты расчетов показали достаточно низкие значения энергии связи между адсорбированными молекулами  $HX$  ( $X=F, Cl, Br$ ) и нелегированной УНТ, в пределах от  $-0.07$  до  $-0.2$  эВ, тогда как легирование бором позволяет усилить связь до значений  $-2,13$  эВ (система  $BNT(3,3)-B-HBr$ ).

Исследование взаимодействия молекулярного аниона  $CrO_4^{2-}$  с УНТ обоих типов показало, что легирование бором не способствует укреплению адсорбции молекул. Влияние примесей азота, наоборот, является положительным и приводит к росту энергии связи (в среднем на  $-3,6$  эВ) по сравнению с нелегированными системами  $BNT-CrO_4^{2-}$ .

Полученные данные способствуют пониманию механизмов адсорбции молекул поверхностью углеродных нанотрубок и указывают на возможность практического использования последних для очистки материалов и отходов промышленного производства от вредных для человека загрязнений, таких как галогениды водорода и соединения, содержащие шестивалентный хром.

**Ключевые слова:** углерод, нанотрубка, адсорбция

## **NANOSIZE CARBONACEOUS MATERIALS AS ADSORBERS OF INORGANIC OXIDES HARMFUL TO THE ENVIRONMENT**

**V. Boyko,  
S. Nedilko,  
V. Borisyuk,  
Y. Khizhny**

**Abstract.** The interaction between carbon nanotubes (CNT) configurations (3,3) and (5,5) and molecules of two types: linear diatomic molecules of hydrogen halides  $HX = HF, HCl, HBr$  and molecular chromatin oxyanions  $CrO_4^{2-}$  was analyzed by the method of theoretical modeling. Such a theoretical forecast is of great practical importance, since it allows us to evaluate the prospects of using carbon nanotubes to remove these molecules from the gaseous medium and thereby purify the environment contaminated with industrial waste.



The calculations were carried out using the Gaussian 03 software package using the density functional theory for the basis sets cc-pVDZ (for chromium and oxygen atoms) and 6-31G \* (for the remaining atoms) with the non-local correlation functional B3LYP.

The results of the calculations showed fairly low values of the binding energy between adsorbed HX molecules (X = F, Cl, Br) and unalloyed CNT, in the range from -0.07 to -0.2 eV, while boron doping makes it possible to strengthen the bond to values of 2.13 eV ( the BHT system (3,3) -B-HBr).

Investigation of the interaction of the molecular anion CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup> with CNTs of both types has shown that doping with boron does not promote the adsorption of molecules. The influence of nitrogen impurities, on the other hand, is positive and leads to an increase in the binding energy (on average by -3.6 eV) in comparison with undoped systems of BHT-CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

The data obtained help to understand the mechanisms of adsorption of molecules by the surface of carbon nanotubes and indicate the possibility of practical use of the latter for the purification of materials and industrial wastes from harmful contaminants such as hydrogen halides and compounds containing hexavalent chromium.

**Keywords: carbon, nanotube, adsorption**

УДК 631.544

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ СВІТЛОКУЛЬТУРИ РОСЛИН У СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

Я. М. ЛУЦАК, інженер

Прилуцький агротехнічний коледж

E-mail: ya.lutsak@ua

**Анотація.** При вирощуванні рослин у середовищі захищеного ґрунту важливим фактором, що впливає на формування якості та врожайності культур, є опромінення, особливо в пори року, коли сонячного світла недостатньо. Тому використання штучного досвічування є необхідним. Світлові прилади, які при цьому використовуються, повинні задовольняти умови якісного росту рослин та формування врожаю, при цьому мати низьке споживання електроенергії та відповідні фотобіологічні характеристики.

Розробка енергоефективних режимів опромінення – один із перспективних напрямів зниження витрат електроенергії у світлокультурі захищеного ґрунту. Існуючий стан проблеми на основі аналізу публікацій щодо біоелектричної активності рослин показує важливий вплив ритмічних змін на фізіологічний стан рослин, тому питання енергозбереження при електроопроміненні овочевих

© Я. М. Луцак, 2018