

# NANOSTRUCTURED FIBROUS CARBON MATERIAL AND ECOLOGY

## Using the material for environment protection

Kononko I.V., Shcherbitska Ye.V., Klipov V.D., Sergyev V.P., Uvarova I.V.

# ВУГЛЕЦЕВИЙ НАНОСТРУКТУРНИЙ ВОЛОКНИСТИЙ МАТЕРІАЛ ТА ЕКОЛОГІЯ

## Застосування для захисту довкілля



**КОНОНКО І.В.,  
ЩЕРБИЦЬКА О.В.,  
КЛІПОВ В.Д., СЕРГЄЄВ В.П.,  
УВАРОВА І.В.**

Інститут проблем  
матеріалознавства  
ім. І.М. Францевича  
НАН України, м. Київ

УДК 621.762:504:66:661.183

**Ключові слова:** вуглецевий  
волокнистий наноструктурний  
матеріал, сорбція,  
забруднювачі довкілля.

Іні все більше уваги приділяється розв'язанню екологічних питань. Господарська діяльність людини набула небажаних тенденцій та призводить до забруднення територій, зміни клімату, деградації середовища існування, надмірного використання природних ресурсів [1]. Зокрема, сучасний стан та якість питної води й повітря у мегаполісах характеризуються як кризові. Позаяк водне середовище є колектором усіх поллютантів довкілля. Саме від якості питної води суттєво залежить здоров'я людини. Санітарно-гігієнічні, рибогосподарські та радіогігієнічні критерії ГДК нормують екологічну безпеку водокористування. Згідно з ними до пріоритетних забруднювачів водного середовища відносять феноли, важкі метали, хлор та хлорорганічні сполуки. Сорбційне видалення цих сполук є доволі важливим процесом серед послідовних

етапів технологічної очистки води.

У забрудненні повітря міст України та робочої зони підприємств значну частку вносять солі важких металів, радіонукліди, органічні відходи хімічних виробництв, вихлопні гази автомобілів тощо [2]. Зокрема, при роботі атомних електростанцій (АЕС) мають місце витоки радіоактивних продуктів поділу ізотопів радіоактивних елементів через контури реактора у робочі приміщення. Особливу небезпеку для обслуговуючого персоналу представляє ізотоп йоду-131 через здатність накопичуватися в організмі. Очистка повітря від основних радіоактивних летких продуктів поділу (парів йоду та його органічних сполук) здійснюється за допомогою адсорбційних фільтрів. Основним адсорбентом, що традиційно застосовується у системах вентиляції та спецгазоочищення АЕС, є активне вугілля СКТ-3 виробництва Росії. Наразі

**УГЛЕРОДНИЙ НАНОСТРУКТУРНИЙ ВОЛОКНИСТИЙ МАТЕРІАЛ И ЭКОЛОГИЯ**  
Использование для защиты окружающей среды  
**Кононко И.В., Щербицкая Е.В., Клипов В.Д.,  
Сергеев В.П., Уварова И.В.**

**Цель исследования:** обобщение знаний относительно проблем экологии и поиск эффективных и безвредных наноматериалов и нанотехнологий для решения природоохранных задач.

**Материалы.** Представлена характеристика разработанного в Институте проблем материаловедения Национальной Академии наук Украины активированного углеродного наноструктурного волокнистого материала (АУВМ "Днепр-МН") из гидратцеллюлозного волокна, установлено в нем наличие наночастиц в виде графитовых нанопакетов, нанолуковиц, нановолокон, нанотрубок.

**Методы исследования.** В качестве опытных образцов были использованы углеродные, активированные и модифицированные волокнистые материалы в виде разных текстильных структур: трикотажа и саржи. Пористую структуру образцов оценивали по поглощению паров бензола, удельную поверхность — по методу БЭТ. Концентрацию фенола определяли колориметрическим методом. Сорбцию металлов осуществляли в статическом режиме. Концентрацию металлов определяли на атомно-адсорбционном спектрометре типа АА3 с применением стандартных методик для контроля качества питьевой воды. Содержимое

активного хлора в воде определяли йодометрически. Адсорбционную емкость адсорбентов относительно паров йода и йодистого метила определяли по специальной методике.

**Результаты.** Рассмотрены особенности формирования строения АУВМ в зависимости от технологических режимов изготовления углеродных волокон, их активации и модификации. Изучена пористая структура АУВМ как сорбента. Исследованы сорбционные характеристики АУВМ и кинетика адсорбции вредных веществ при очистке воды, а именно: фенола, тяжелых и токсичных металлов, хлора и его соединений в зависимости от их концентрации в растворах. Установлена универсальная сорбционная активность АУВМ относительно широкого спектра загрязнителей окружающей среды, что свидетельствует о перспективности его использования в повседневной жизни и при чрезвычайных ситуациях. Показано, что разработанный АУВМ по своим сорбционным характеристикам существенно превосходит широко применяемые в промышленности активированные угли марок СКТ, "Бусофит", БАУ. Доказана возможность использования АУВМ на атомных электростанциях в качестве наполнителя фильтров в системах вентиляции и спецгазоочистки воздуха от паров йода и йодистого метила.

**Ключевые слова:** углеродный волокнистый наноструктурный материал, сорбция, загрязнители окружающей среды.

© Кононко І.В., Щербицька О.В., Кліпов В.Д., Сергєєв В.П., Уварова І.В. СТАТТЯ, 2014.

## NANOSTRUCTURED FIBROUS CARBON MATERIAL AND ECOLOGY

Using the material for environment protection  
Kononko I.V., Shcherbitska Ye.V., Klipov V.D.,  
Sergiyev V.P., Uvarova I.V.

**The objective:** generalization of knowledge about environmental issues and the search for effective and harmless nanomaterials and nanotechnologies to solve environmental problems.

**Materials.** Characteristics of activated nanostructured fibrous carbon material (AUVМ "Dniepr-MN") designed at Frantsevich Institute for Problems of Materials Science of NAS of Ukraine on the basis of rayon fiber are presented. Presence of nanostructures in the form of graphite nanopackages, nanobulbs, nanofibers, and nanotubes in it has been shown.

**Methods for investigation.** Activated and modified fibrous carbon materials in the form of different textile structures such as knit and soot were used as samples to be studied. Porous structure of the samples was estimated via absorption of benzene vapors. The specific surface area was determined using the BET method. The concentration of phenol was measured by the colorimetric method. Sorption of metals was conducted in a static mode. The metal concentration was determined using an atom-adsorption spectrometer

AAS3 and standard techniques for control of drinking water quality. The content of active chlorine was established by an iodine-metrical analysis. A special technique was used for estimation of the adsorption capacity of adsorbents towards iodine and methyl iodine vapors.

**Results.** The peculiarities of AUVМ structure formation have been studied depending on the conditions of fabrication, activation and modification of carbon fibers. The porous structure of AUVМ as a sorbent and its sorption characteristics as well as the kinetics of adsorption of harmful substances namely phenol, heavy and toxic metals, chlorine and its compounds in the course of water purification were investigated depending on their concentration in solutions. The universal sorption activity of AUVМ towards a number of environment pollutants has been demonstrated, which evidences to its possible successful application both under extraordinary conditions and in everyday life. The developed AUVМ was shown to have significant advantages over traditionally used in industry activated carbon of the trades SKT, "Buosofit" and BAU. The possibility of using AUVМ at nuclear plants as a filter filler in air purification systems and special systems for air purification from vapors of iodine and iodine methyl was demonstrated.

**Keywords:** nanostructured fibrous carbon material; sorption; environment pollutants.

для АЕС України гостро постає питання реконструкції існуючих та створення нових систем вентиляції та спецгазоочищення з використанням сорбентів вітчизняного виробництва.

У літературі присутні відомості про вагомий роль вуглецевих наноматеріалів (ВНМ) для запобігання деградації навколишнього середовища, підвищення рівня охорони здоров'я, оптимізації енергетичної галузі, відновлення та повторного використання стічних вод і боротьби з наявними забрудненнями [3]. Відомо, що наносорбенти на основі вуглецю, з високим співвідношенням поверхні до об'єму та контрольованою хімією поверхні, здатні долати обмеження, притаманні традиційним сорбентам, та за ефективністю значно перевищують традиційні активовані вугілля. Встановлено кореляційний зв'язок між кількістю наночастинок у матеріалі та його адсорбційними властивостями [4].

Одним з перспективних ВНМ є створений в Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України вуглецевий наноструктурний волокнистий матеріал АУВМ "Дніпро-МН" (далі — АУВМ), активований у середовищі парів води. Зазначений матеріал отримано із гідратцелюлози піролітичним методом, який включає наногрануляцію прекурсора у присутності активних домішок та забезпечує консолідацію наночастинок шляхом полімери-

зації вуглецю у волокні [5]. Авторами проведено ідентифікацію складу наноструктур у вуглецевій складовій волокна та встановлено наявність чотирьох наноформ з різними температурами максимального окиснення (табл. 1).

АУВМ виготовлено у вигляді тканини, що відкриває технологічні можливості для його використання як сорбуючого наноматеріалу для очищення доквілля. Йому притаманна розвинута макро-, мезо- та мікропористість та унікальні властивості, необхідні для роботи в екстремальних умовах: практично не кришиться, не протирається, придатний для створення адсорбційних пакетів. Термостійкість та гідрофобність матеріалу забезпечує його придатність для роботи у режимах з високим паровмістом газового середовища та підвищеної температури.

Нами вивчено адсорбційні властивості АУВМ щодо пріоритет-

них забруднювачів водного середовища (фенолу, хлору та хлорпохідних, важких металів), а також легких речовин, що забруднюють повітря робочих приміщень АЕС (парів йоду та йодистого метилу).

**Матеріали та методи.** Досліджувалися зразки АУВМ (АУВМ-18, АУВМ-25, АУВМ-37, АУВМ-41, АУВМ-55, АУВМ-66) з різними ступенями випалу (різними втратами маси під час термічної обробки вихідного матеріалу — гідратцелюлози): 18%, 25%, 37%, 41%, 5% та 66% та відповідно різними пористими структурами (табл. 2). Для порівняння використовували матеріал вуглеволоконистий сорбційний "Бусофіт-Т" (виробництва ПО "Хімволокно" м. Світлогорськ, Білорусь) та гранульоване активне вугілля СКТ-3 (виробництва АООТ ЕХМЗ м. Електросталь, Росія).

Порувату структуру зразків оцінювали за поглинанням пари

Таблиця 1

Склад індивідуальних форм нановуглецю в АУВМ відповідно до температур окиснення

Температура окиснення, °С	Група вуглецевих наноформ	Вуглецеві наноформи
до 550	наноцибулини	наноцибулини
600	графітові нанопакети	графітові нанопакети
650	нановолокна	поперечно-шаруваті
700		конусно-шаруваті
740		згорнуті
760	нанотрубки	багатостінні
800		одностінні

бензолу, питому поверхню — за методом БЕТ. Концентрацію фенолу визначали колориметричним методом.

У ході експерименту здійснювали модифікацію поверхні вихідних АУВМ методом рідинного окиснення розчином азотної кислоти. Статичну обмінну ємність (СОЕ) отриманих зразків розраховували за кислотними групами.

Сорбцію металів ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cs}^{+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ) здійснювали у статичному режимі протягом 24 годин за кімнатної температури з розчинів їхніх солей ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{CsCl}$ ;  $\text{SrCl}_2$ ). Концентрацію металів визначали на атомно-адсорбційному спектрометрі типу ААС3 з застосуванням стандартних методик (ГОСТ 2874-82) для контролю якості питної води.

Як модель активного хлору ( $\text{Cl}_2^{\text{акт}}$ ) було застосовано хлор, що утворюється при розчиненні у воді нейтрального гіпохлориду кальцію з високим вмістом активного хлору у сухій речовині (55%). Концентрація активного хлору у водному розчині дорівнювала 25, 50 та 100 мг/л.

Водні розчини метиленового блакитного готували з відповідного реагенту марки "ХЧ" у формі солі хлорату четвертинного амонієвої основи з формулою  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{S}\text{Cl}$ . Вихідна концентрація метиленового блакитного дорівнювала 150-1500 мг/л.

Вміст активного хлору у воді визначали йодометрично згідно з ГОСТ 18190-72, метиленового блакитного — колориметричним методом згідно з ГОСТ 4453-74.

Адсорбційну ємність адсорбентів щодо парів йоду та йодистого метилу визначали методом, зазначеним у [6]. У експериментах використовували стабільний ізотоп йоду з атомною вагою 127 (як прототип радіоактивного ізотопу J-131) та отриманий на його основі йодистий метил.

Розраховували ступінь вилучення іонів  $\alpha(\%)$  та питому адсорбцію  $a$  (мг/г) [7].

Статистичну обробку отриманих результатів проводили за допомогою прикладного пакету програм "Statgraphics"-V.2.6.

**Результати досліджень та обговорення.** Відомо, що адсорбційна ємність вуглецевих матеріалів залежить переважно від таких характеристик, як об'єм сорбційного простору, розмір пор та розподіл їх. Результати досліджень пористої структури отриманих нами та відомих активованих вуглів представлено у таблиці 2.

Вибір адсорбатів для досліджень був обумовлений такими міркуваннями: феноли є одними з найпоширеніших органічних забруднювачів, які, потрапляючи у поверхневі води через викиди міських стічних вод та зі стоками промислових підприємств, навіть у невеликій кількості, значно погіршують органолептичні якості води. Відомо про негативний вплив (канцерогенні та токсичні ризики) фенолів на системи та органи живих організмів, особливо нервову та серцево-судинну.

Сорбційну здатність адсорбентів щодо конкретних речовин було оцінено методом ізотерм адсорбції у рідкій фазі, який описує розподіл речовини між адсорбентом і розчином в умовах досягнення рівноважної концентрації та повного насичення сорбенту. Характер ізотерм адсорбції фенолу (рис. 1) різними сорбентами свідчить про суттєве прискорення видалення речовини зразком АУВМ-66 порівняно з іншими досліджуваними зразками, що пояснюється особливостями пористої структури сорбентів. Так, зазначений матеріал має великий сумарний об'єм сорбційних пор (0,98  $\text{см}^3/\text{г}$ ), серед яких мікро- та супермікропори становлять близько 60%, і може бути віднесеним до супермікропористих. Середній радіус цих

Таблиця 2

#### Характеристики поруватої структури сорбентів

Найменування зразка сорбенту	Основні параметричні характеристики пористості		
	$V_s$ , $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{mi}$ , $\text{см}^3/\text{г}$	$V_{me}$ , $\text{см}^3/\text{г}$
БАУ	0,35	0,10	0,25
АР-В	0,45	0,15	0,30
СКТ	0,40	0,25	0,36
АВВМ-18	0,32	0,26	0,06
АВВМ-25	0,76	0,51	0,25
АВВМ-66	0,98	0,65	0,33
"Бусофіт"	0,35	0,28	0,07

Примітки:  $V_s$  — сумарний об'єм пор;  $V_{mi}$  — об'єм мікропор;  $V_{me}$  — об'єм мезопор.

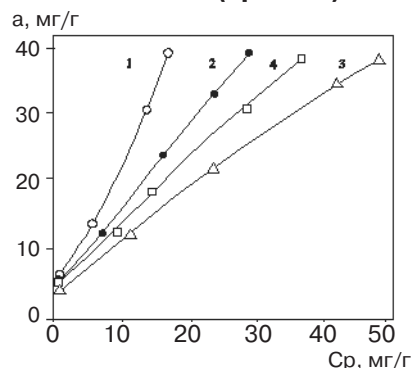
мікропор (0,6-1,6 нм) перебуває у діапазоні розміру молекули фенолу (0,8 нм у діаметрі). Розвинена мережа макропор забезпечує відносно вільний доступ до сорбційних пор, тому заповнення сорбційного простору на першій стадії адсорбції (90-95%) відбувається досить швидко. Подальша, більш повільна стадія адсорбції, лімітується дифузією молекул через ущільнений попередньо адсорбованими молекулами фенолу простір пор.

Те саме стосується й інших досліджених зразків — АУВМ-25, АУВМ-41 та "Бусофіту", але вони мають відповідно менші об'єми сорбційного простору, меншу кількість мікропор, а розмір останніх є гранично наближеним до розміру адсорбованої молекули й у ряді випадків навіть меншим за нього. Тому й ступінь заповнення мікропор на цих зразках може становити лише частину загального сорбційного об'єму сорбенту.

Таким чином, сорбційна активність АУВМ відносно органічних речовин підвищується пропорційно ступеневі випалу зразків. Для використання у фільтрах очистки води найбільш перспективним є зразок АУВМ-66 з шириною мікропор 0,6-0,8 нм, оскільки завдяки відносно невеликим розмірам своєї молекули фенол спроможний повністю заповнювати мікропористий об'єм вказаного сорбенту до насичення.

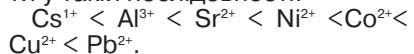
Присутні у ґрунті та гідросфері важкі метали суттєво впливають на життя та здоров'я людини. Потрапляючи до організму людини переважно з питною водою та накопичуючись у ньому, вони спричиняють хронічні захворювання, уражають печінку, нирки, центральну нервову та імунну системи. Результати сорбції важких металів з водних розчинів вихід-

Рисунок 1  
Ізотерми адсорбції фенолу сорбентами за тривалості процесу 6 год: АУВМ-66 (крива 1), АУВМ-41 (крива 2), "Бусофіт" (крива 3), АУВМ-25 (крива 4)



ними зразками АУВМ-25 та АУВМ-66 наведено у таблиці 3.

За зростанням ступеня вилучення іонів вихідними зразками АУВМ метали можна розташувати у такій послідовності:



Досліджені сорбенти мають вихідну статичну обмінну ємність (СОЄ), мг-екв/г: АУВМ-25 — 1,43; АУВМ-66 — 2,02. З метою підвищення сорбційних властивостей вуглецевих сорбентів було проведено додаткову модифікацію їх розчином азотної кислоти та отримано окиснені вуглеволоконні сорбенти з підвищеними катіонообмінними властивостями, які мають СОЄ від 4,1 до 6,95 мг-екв/г.

Встановлено, що сорбція вихідними зразками АУВМ іонів важких та токсичних металів, як і у попередніх дослідженнях, залежить від пористої структури сорбентів. Зокрема, зразок АУВМ-66 (сумарний об'єм пор — 0,98 см<sup>3</sup>/г) адсорбує на 10-30% іонів більше, ніж зразок АУВМ-25 (сумарний об'єм пор — 0,32 см<sup>3</sup>/г). За однакових умов найкраще поглинаються іони свинцю (97%) та міді (92,1%), значно менше сорбуються іони алюмінію (49,1%) та цезію (25,4%).

Визначено, що сорбція окисненим зразком АУВМ-66 іонів важких і токсичних металів ефективніша за неокиснений, що особливо показово за вихідної концентрації металів 10 мг/л і становить для Pb<sup>2+</sup> 100%, Al<sup>3+</sup> — 99,8%, Cu<sup>2+</sup> — 99%, Sr<sup>2+</sup> — 97%, Co<sup>2+</sup> -94%, Ni<sup>2+</sup> — 87%, Cs<sup>+</sup> — 84%. Сорбційні властивості окисненого зразка значною мірою зумовлені наявністю кисневмісних функціональних груп та катіонообмінними процесами на поверхні сорбенту.

Через масштабність використання та високу токсичність хлор та його сполуки є небезпечними для здоров'я людини. Особливе значення має застосування хлору (активного хлору) у засобах стерилізації та знезараження води. Активними є молекулярний хлор та його кисневі сполуки, розчинені у воді. Значну небезпеку являють сполуки хлору з органічними речовинами, переважно з кислотами водного гумусу. В якості маркера хлорорганічних речовин нами використано барвник метиленовий блакитний, який застосовують при тестуванні активованого вугілля. Сорбцію активного хлору та метиленового блакитного з водних розчинів вивчали у статичних умовах на зразках АУВМ-25, АУВМ-41 та АУВМ-66 та відомих марок промислового вугілля. Встановлено високу адсорбційну активність зазначених сорбентів щодо хлору. Якщо порівнювати ємність АУВМ-66 за хлором з ємністю іншого вугілля, то слід відзначити, що вона значно більша, ніж у промислового вугілля марки АР-В (260 мг/г) і БАУ (270 мг/г), а також перевищує ємність вугілля СКТ [8]. Зазначена відмінність цього показника пояснюється структурними характеристиками вказаних сорбентів (табл. 2).

При вивченні адсорбційних процесів у часі на зразках АУВМ і "Бусофіту" за різних вихідних концентрацій хлору у розчині (25, 50 та 100 мг/л) встановлено, що найбільшу питому адсорбцію має зразок АУВМ-66. Цей показник у 2,2-2,4 рази перевищує такий у АУВМ-25 та "Бусофіту". На рисунку 2 наведено залежність адсорбції хлору з розчину з по-

чатковою концентрацією 50 мг/л зразків АУВМ та "Бусофіту" від тривалості сорбції. Близьке до наведеного співвідношення величин адсорбції спостерігається також і для інших вихідних концентрацій хлору.

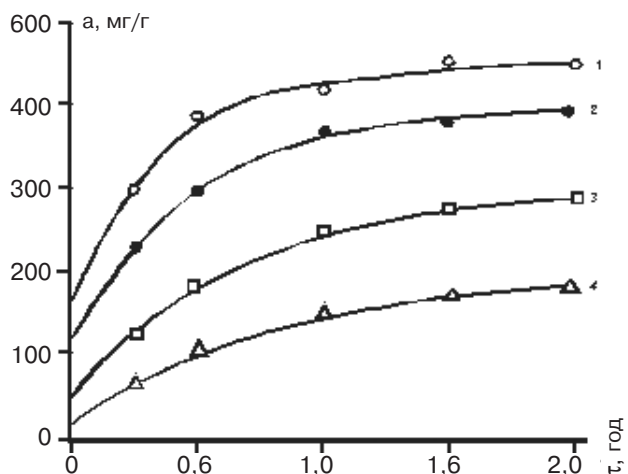
Сорбція хлору на АУВМ є досить сильною. При відмиванні дистильованою водою насиченого хлором зразка у розчин переходить не більше 10% адсорбованого хлору, що свідчить про хімічну взаємодію хлору з вуглицем сорбенту (хімічна сорбція).

Кінетичні криві адсорбції метиленового блакитного наведено на рисунку 3. Аналіз їх свідчить, що процес сорбції барвника з

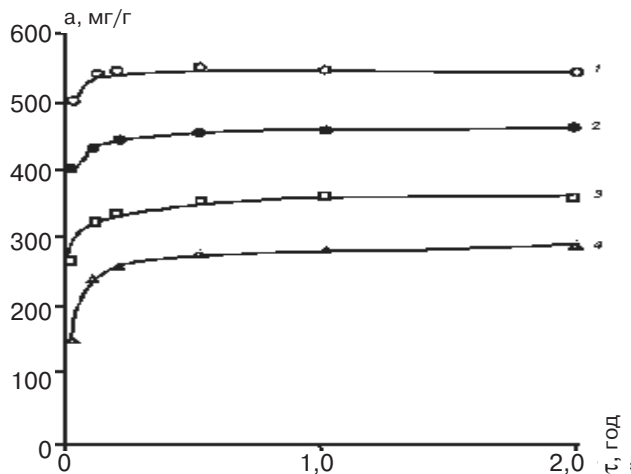
**Таблиця 3**  
**Сорбційна активність зразків АУВМ щодо катіонів важких та токсичних металів**

Зразок АУВМ	Катіон Me <sup>n+</sup>	Рівноважна концентрація (C <sub>p</sub> ), мг/л	Питома адсорбція (a), мг/г	Ступінь вилучення (α), %
АУВМ-25	Pb <sup>2+</sup>	1,09	1,43	89,1
АУВМ-66		0,3	3,25	97,0
АУВМ-25	Sr <sup>2+</sup>	5,64	1,48	43,6
АУВМ-66		4,6	1,73	54,0
АУВМ-25	Cu <sup>2+</sup>	1,58	2,75	84,2
АУВМ-66		0,79	3,03	92,1
АУВМ-25	Ni <sup>2+</sup>	5,17	1,57	48,3
АУВМ-66		4,41	1,8	55,9
АУВМ-25	Co <sup>2+</sup>	5,08	1,58	49,2
АУВМ-66		3,87	1,93	61,3
АУВМ-25	Al <sup>3+</sup>	6,77	1,14	32,3
АУВМ-66		5,09	1,63	49,1
АУВМ-25	Cs <sup>+</sup>	8,18	0,6	18,2
АУВМ-66		7,46	0,85	25,4

**Рисунок 2**  
**Кінетика адсорбції Cl<sub>2</sub><sup>акт</sup> (C<sub>0</sub>=50 мг/л) сорбентами АУВМ-66 (крива 1), АУВМ-41 (крива 2), "Бусофіт" (крива 3), АУВМ-25 (крива 4)**



**Рисунок 3**  
**Кінетика адсорбції метиленового блакитного (C<sub>0</sub>=1500 мг/л) сорбентами АУВМ-66 (крива 1), АУВМ-41 (крива 2), АУВМ-25 (крива 3), "Бусофіт" (крива 4)**



вихідною концентрацією 1500 мг/л на усіх зразках вугілля відбувається дуже інтенсивно і вже у перші хвилини сягає 90-95% від рівноважного. Для зразка АУВМ-66 рівновага адсорбції встановлюється за 15-20 хвилин, а для інших — за годину. Великі молекули метиленового блакитного краще сорбуються у мезапорах, а сорбція хлору відбувається переважно у мікропорах. Загалом майже вся питома поверхня активованого вугілля визначається внутрішньою мікро- та мезопористістю. На ній відбуваються інтенсивні процеси сорбції, в основі яких лежить взаємодія енергетично ненасичених атомів вуглецю з молекулами адсорбованих речовин.

Проведено також дослідження можливості використання АУВМ в якості наповнювача фільтрів для систем вентиляції та спецгазоочистки АЕС [6]. Основними характеристиками адсорбційних фільтрів є коефіцієнт очистки та ресурс роботи, що, у свою чергу, зумовлене взаємодією у системі адсорбент — адсорбат. Значення коефіцієнта очистки адсорбційного фільтра перебуває у прямій залежності від величини геометричної поверхні адсорбенту. АУВМ має значну геометричну поверхню за рахунок комплексних вуглецевих ниток, кожна з яких містить близько двох тисяч елементарних волокон діаметром 6-8 мкм з добре розвинутою мікро-, мезо- та макропористістю.

Отримані дані адсорбційних та геометричних характеристик досліджуваних адсорбентів наведено у таблиці 4.

Умови роботи адсорберів у вентиляційних системах та системах спецгазоочистки відрізняються. Так, у першому випадку адсорбційні фільтри працюють у потоці повітря, насиченого атмосферою вологою. У другому випадку здійснюється

попереднє осушування газу. Таблиця 4 містить відомості про адсорбційну ємність насичених вологою і зневоднених адсорбентів. Встановлено, що цей показник у зразків АУВМ з об'ємом пор 0,93-1,25 см<sup>3</sup>/г у декілька разів перевищує ємність СКТ-3 за парами йоду та йодистого метилу. Оскільки адсорбційна ємність характеризує один з головних показників роботи адсорбційного фільтра — ресурс роботи, то ресурс роботи адсорбера, наповненого АУВМ, буде значно більшим за адсорбер з СКТ-3. Також можливе зменшення об'єму адсорбера при збереженні ресурсу роботи. Окрім того, добре розвинута геометрична поверхня вуглецевого матеріалу має забезпечувати високі коефіцієнти очистки адсорберів щодо парів йоду та його органічних сполук.

#### Висновки

1. Розроблений в ІПМ НАНУ вуглецевий волокнистий матеріал АУВМ "Дніпро"-МН має у своїй структурі наноформи і може бути віднесеним до наноструктурних. Співвідношення наноформ у складі АУВМ "Дніпро"-МН зумовлюють його визначні експлуатаційні властивості.

2. У ході вивчення сорбційних властивостей досліджуваних вуглецевих матеріалів щодо пріоритетних забруднювачів води та повітря встановлено, що зразки АУВМ за своїми сорбційними характеристиками значно переважають відомі марки промислового активованого вугілля (СКТ, "Бусофіт", БАУ).

Використання активованих вуглеволоконистих матеріалів з нанорозмірною структурою та широким спектром наноформ (наноцибулини, нанографіт, нановолокна, нанотрубки, нанонитки) значно розширює можливості сорбційного способу очищення питної води від різних забруднювачів на стадії доочищення з покращанням її якості.

3. Встановлено можливість використання АУВМ для видалення парів йоду технологічних газових здувів з обладнання та повітря АЕС. Ресурс роботи адсорбера, заповненого АУВМ, є суттєво більшим, ніж для адсорберу з СКТ-3 та забезпечить високі коефіцієнти очистки повітря, що вентилюється, від домішок йоду.

4. Досліджена універсальна та ефективна сорбційна активність АУВМ щодо широкого спектра забруднювачів навколишнього середовища (органічних речовин, важких і токсичних металів, радіонуклідів тощо) свідчить про перспективність використання цього матеріалу у повсякденному житті та надзвичайних ситуаціях. Так, можна рекомендувати застосування АУВМ (вихідного та модифікованого) у галузі охорони довкілля: у системах вентиляції та спецгазоочистки АЕС, фільтрувальних пристроях для очистки води, фільтрів для сигарет, при створенні захисних покриттів та екранів, для виготовлення спецодягу та респіраторів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Полька Н.С. Проблеми збереження довкілля і здоров'я нації у матеріалах XV з'їзду гігієністів України / Н.С. Полька, В.І. Федоренко, Б.А. Пластунов // Довкілля та здоров'я. — 2013. — № 2. — С. 68-80.

2. Гігієнічна оцінка канцерогенного забруднення атмосферного повітря міст з різними профілями промисловості / О.В. Швагер, І.О. Черниченко, О.М. Литвиченко, Л.С. Соверткова // Довкілля та здоров'я. — 2013. — № 3. — С. 9-13.

3. Mauter M.S. Environmental applications of carbon-based nanomaterials / M.S. Mauter, M. Elimelech // Environ. Sci. Technol. — 2008. — Vol. 42. — P. 5843-5859.

4. Елецкий А.В. Сорбционные свойства углеродных наноструктур / А.В. Елецкий // Успехи фи-

Таблиця 4

Адсорбційні та геометричні характеристики досліджених сорбентів

Характеристика	Адсорбент					
	АУВМ-18	АУВМ-25	АУВМ-41	АУВМ-55	СКТ-3	
Сорбційний об'єм пор см <sup>3</sup> /г	0,30	0,85	1,25	0,93	0,70	
Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г	570	830	1750	1000	1300	
Насипна щільність, г/см <sup>3</sup>	0,38	0,19	0,21	0,25	0,42	
Тип адсорбенту	трикотаж	трикотаж	саржа	саржа	гранули, d=2 мм	
Ємність щодо парів J <sub>2</sub> , мг/г	з Н <sub>2</sub> O	1,8	3,0	6,0	4,5	2,5
	без Н <sub>2</sub> O	9,0	14	25	21	8,5
Ємність щодо парів CH <sub>3</sub> J, мг/г	з Н <sub>2</sub> O	0,065	0,045	0,125	0,15	0,04
	без Н <sub>2</sub> O	0,9	1,75	2,0	1,9	1,1
Аеродинамічний опір ΔP, Па	80	80	1100	2280	1700	

зических наук. — 2004. — Т. 174, № 11. — С. 1191-1230.

5. Дослідження процесів формування вуглецевих наноструктур при термодеструкції та карбонізації гідратцелюлозних волокон. Ч. 2. / О.В. Щербицька, В.В. Гарбуз, В.Д. Кліпов та ін. // Наноструктурное материаловедение. — 2010. — № 4. — С. 39-44.

6. Исследование возможности использования активированных углеродных волокнистых материалов "Днепр" в системах вентиляции и спецгазоочистки АЭС / В.Г. Колобродов, М.А. Хаджмуратов, Т.К. Григорова и др. // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (89). — 2006. — № 4. — С. 104-110.

7. Дослідження сорбційних властивостей активованих вуглеволоконистих матеріалів. Ч. 1. Сорбція органічних речовин / О.В. Щербицька, В.М. Клевцов, В.Д. Кліпов та ін. // Наноструктурное материаловедение. — 2009. — № 1. — С. 60-65.

8. Сорбционное улавливание хлора из отходящих газов электролиза хлоридных растворов углеродными адсорбентами / С.С. Ставицкая, А.Н. Томашевская, В.Е. Гоба и др. // Журнал прикладной химии. — 2004. — № 3. — С. 1462-1466.

#### REFERENCES

1. Polka N.S., Fedorenko V.I., Plastunov B.A. Dovkillia ta zdorovia. 2013; 2 : 68-80 (in Ukrainian).

2. Shvager O.V., Chernyuchenko I.O., Lytyuchenko O.M., Sovertkova L.S. Dovkillia ta zdorovia. 2013; 3 : 9-13 (in Ukrainian).

3. Mauter M.S., Elimelech M. Environ. Sci. Technol. 2008; 42 : 5843-5859.

4. Eletskaia A.V. Uspekhi fizicheskikh nauk. 2004; 174 (11) : 1191-1230 (in Russian).

5. Shcherbitska O.V., Harbuz V.V., Klipov V.D., Serhieiev V.P., Kononko I.V., Klevtsov V.M. et al. Nanostrukturnoe materialovedenie. 2010; 4 : 39-44 (in Ukrainian).

6. Kolobrodov V.G., Khadzhmuratov M.A., Grigорова T.K., Sergeev V.P., Klevtsov V.N., Plyanova E.P. Voprosy atomnoi nauki i tekhniki. Seriya: Fizika radiatsionnykh povrezhdenii i radiatsionnoe materialovedenie. 2006; 4 : 104-110 (in Russian).

7. Shcherbitska O.V., Klevtsov V.M., Klipov V.D., Serhieiev V.P., Kononko I.V., Budilina O.M. Nanostrukturnoe materialovedenie. 2009; 1 : 60-65 (in Ukrainian).

8. Stavitskaia S.S., Tomashevskaya A.N., Goba V.E., Kartel N.T., Strelko V.V. Zhurnal prikladnoi khimii. 2004; 3: 1462-1466 (in Russian).

Надійшла до редакції 26.04.2014

## FEATURES OF WORKING CONDITIONS IN LOCOMOTIVE CREWS WORKERS

Aleksiiichuk O., Tkachishin V., Tkachishina N., Arustamyan O.

## ОСОБЛИВОСТІ УМОВ ПРАЦІ МАШИНІСТІВ ЛОКОМОТИВІВ ТА ЇХНІХ ПОМІЧНИКІВ



**АЛЕКСІЙЧУК О.Ю.<sup>1</sup>,  
ТКАЧИШИН В.С.<sup>1</sup>,  
ТКАЧИШИНА Н.Ю.<sup>2</sup>,  
АРУСТАМЯН О.М.<sup>1</sup>**

Національний медичний  
університет

ім. О.О. Богомольця<sup>1</sup>, м. Київ,  
ДЗ "Дорожна клінічна лікарня

№ 2 ст. Київ" Державного  
територіального галузевого

об'єднання "Південно-Західна  
залізниця"<sup>2</sup>,

м. Київ

УДК: 613.6:629.41-051

**Ключові слова: працівники  
локомотивних бригад, шкідливі фактори виробничого середовища.**

а сучасному етапі у народному господарстві країни існують професії, діяльність яких пов'язана з ризиком для життя і здоров'я значних контингентів осіб. Однією з таких професій є робота працівників локомотивних бригад (ПЛБ). Перевезення великих контингентів людей на пасажирських потягах, різні нестандартні ситуації під час рейсу вимагають від машиністів постійної уваги, зосередженості і психоемоційної напруги. Крім зазначеного, на організм даної категорії працівників постійно впливають негативні виробничі фактори, зокрема вібрація, шум, несприятливий мікроклімат, інфрачервоне випромінювання, електромагнітні поля і вимушена робоча поза. На фоні нерегулярного прийому їжі, порушень питного режиму і нормальних природних біоритмів (робота у нічний час) спостерігається зростання серед ПЛБ значної кількості за-

#### ОСОБЕННОСТИ УСЛОВИЙ ТРУДА МАШИНИСТОВ ЛОКОМОТИВОВ И ИХ ПОМОЩНИКОВ

**Алексейчук А.Ю., Ткачишин В.С., Ткачишина Н.Ю., Арустамян О.М.**

**Цель.** Установить особенности условий труда работников локомотивных бригад.

**Материалы и методы.** Изучались и в последующем учитывались в работе такие факторы производственной среды работников локомотивных бригад, как вредные химические вещества (азота диоксид и углерода оксид), физические факторы воздействия (шум, вибрация, неионизирующее излучение, микроклимат в помещении рабочей зоны) и психофизиологические факторы производственной среды (составляющие показатели тяжести и напряженности труда, интеллектуальной нагрузки, сменность труда).

**Результаты.** Было установлено, что на организм работников локомотивных бригад влияет значительное количество вредных факторов производственной среды и трудового процесса, ряд из которых выходит за пределы нормативных значений. К последним относятся физические факторы (уровень вибрации и шума, скорость движения воздуха, температура воздуха рабочей зоны в теплый период года, перепад температуры воздуха по вертикали в холодный период года и интенсивность инфракрасного излучения), параметры тяжести труда (количество наклонов туловища более 30° за смену у помощника машиниста) и напряженности труда (сенсорные нагрузки, значительные эмоциональные и интеллектуальные нагрузки). Согласно "Гигиенической классификации труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряженности трудового процесса" (утверждена приказом Министерства здравоохранения Украины № 528 от 27.12.2001 г.) условия и характер труда работников локомотивных бригад относятся в целом к классу 3.2 — вредные 2 степени.

**Ключевые слова: работники локомотивных бригад, вредные факторы производственной среды.**

© **Алексійчук О.Ю., Ткачишин В.С., Ткачишина Н.Ю.,  
Арустамян О.М. СТАТТЯ, 2014.**