

- hrij-turizm-vidpochinok-na-prirodi-z-vidpovidalnistyuu/ (дата звернення: 19.04.2025).
2. Карпатський туристичний район. *Все про туризм: туристична бібліотека*. URL: https://tourlib.net/books_ukr/vt4-2-1.htm (дата звернення: 19.04.2025).
3. 17 Цілей сталого розвитку. *Global Compact*. URL: <https://globalcompact.org.ua/tsili-stijkogo-rozvytku/> (дата звернення: 19.04.2025).

УДК 628.3:546.26

Тичковський С.І., аспірант
Челядин Л.І., д.т.наук, професор
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЗАСТОСУВАННЯ ОКСИДУ ГРАФЕНУ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД

Однією з найбільших екологічних проблем сучасності є проблема забруднення стічних вод. Індустріалізація, зростання населення та зміна клімату лише посилює цю проблему, тому ефективне очищення стічних вод набуває критичного значення не лише для збереження водних ресурсів, але й для захисту здоров'я людини та навколишнього середовища.

Стічні води, що утворюються в результаті промислової, сільськогосподарської та побутової діяльності містять дедалі ширший спектр забруднювачів, такі як важкі метали, фармацевтичні препарати, пестициди, органічні барвники, мікропластик та інші. Така різноманітність забруднювачів ускладнює процес очищення, оскільки жоден із традиційних методів не є універсальним і не забезпечує ефективного видалення всіх типів забруднювачів одночасно.

Нездатність існуючих систем комплексно видаляти весь спектр забруднювачів призводить до їхнього потрапляння у водні екосистеми. Забруднення водних ресурсів призводить до деградації екосистем, втрати біорізноманіття, евтрофікації водойм та порушення природного балансу. У людини тривале вживання забрудненої води може спричиняти накопичення важких металів в організмі та викликати хвороби печінки, нирок, нервової системи та онкологічні захворювання [1].

У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці і впровадженні новітніх, більш ефективних методів очистки стічних вод. Одним із перспективних напрямів є використання наноматеріалів, зокрема оксиду графену. Оксид графену - це двовимірний наноматеріал, похідний графену, який містить численні функціональні групи (гідроксильні, епоксидні, карбоксильні), що забезпечують його високу гідрофільність та здатність до

адсорбції що є ключовими факторами для використання його у очищенні стічних вод.

Оксид графену застосовується у вигляді мембран, композитів або порошкоподібних адсорбентів. Мембрани на основі оксиду графену демонструють високу водопроникність та ефективність у затриманні солей, органічних молекул та наночастинок завдяки точно контрольованому міжшаровому простору. Зокрема, дослідження показують, що мембранні модулі досягли ефективності видалення 98.5% миш'яку, 96.7% фтору та 96-97% заліза з води [2].

Крім того, оксид графену ефективно адсорбує барвники - ефективність видалення барвників конго червоний та базовий синій становила 99% та 96% відповідно [3].

Також, наявні дослідження показують ефективність оксиду графену у видаленні фармацевтичних забруднювачів з води. У дослідженні було досягнуто ефективності видалення 95,87% для цефтріаксону та 98,64% для норфлуксацину за оптимальних умов [4].

Ще однією перевагою є те що матеріали на основі оксиду графену легко інтегруються в системи очищення, потребують мало простору і мають хорошу масштабованість. Також серед переваг оксиду графену варто відмітити його стійкість до органічних розчинників та окислювачів.

Попри численні переваги, методи очищення води з використанням оксиду графену мають і певні обмеження. Однією з головних проблем є висока вартість синтезу матеріалу у промислових масштабах, що обмежує його широке впровадження. Крім того, стабільність структури мембран на основі оксиду графену потребує подальших досліджень, оскільки тривале використання може призводити до деградації матеріалу або зниження його фільтраційних властивостей.

Оксид графену є перспективним матеріалом для очищення стічних вод завдяки своїм унікальним фізико-хімічним властивостям, високій ефективності у видаленні широкого спектра забруднювачів та потенціалу для подальшої модифікації. Незважаючи на наявні технічні та економічні недоліки, розвиток технологій синтезу та масштабування може забезпечити його широке застосування у майбутньому.

Перелік використаних джерел

1. Veer Singh, Ghufraan Ahmed, Sonali Vedika, Pinki Kumar, Sanjay K. Chaturvedi, Sachchida Nand Rai, Emanuel Vamanu, Ashish Kumar (2024). Toxic heavy metal ions contamination in water and their sustainable reduction by eco-friendly methods: isotherms, thermodynamics and kinetics study. *Scientific Reports*, 14, 7595.

2. M. Pal, S. Chakraborty, J. Nayak, P. Pal (2019). Removing toxic contaminants from groundwater by graphene oxide nanocomposite in a membrane module under response surface optimization. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 4583–4594.

3. Yun Zhong, Sakil Mahmud, Zijun He, Yang Yang, Zhe Zhang, Fei Guo, Zhihong Chen, Zhu Xiong, Yubao Zhao (2020). Graphene oxide modified membrane for highly efficient wastewater treatment by dynamic combination of nanofiltration and catalysis. *Journal of Hazardous Materials*, 397, 122774.

4. Zhihui Li, Shuhang Zhang, Guina Zhu, Jie Xing (2024). Use of graphene oxide for the removal of norfloxacin and ceftriaxone antibiotics from aqueous solution: process optimization using response surface approach. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1436848.

УДК 629.735

Угриновський Іван, аспірант кафедри
технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці

Коцюбинський Андрій, к.фіз-мат.н. доцент кафедри
технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці

Курилюк Марія, студентка кафедри
технології захисту навколишнього середовища та безпеки праці

ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ З ТЕПЛОВІЗІЙНИМИ КАМЕРАМИ ДЛЯ 3D-ТЕРМОГРАФІЧНОГО АНАЛІЗУ БУДІВЕЛЬ

Будівельний сектор споживає близько 76% електроенергії та 40% первинної енергії з відповідними викидами парникових газів у розвинених країнах. Втрати тепла через огорожувальні конструкції будівель (стіни – 35%, дахи – 25%, підлоги – 15%, протяги – 15%, вікна – 10%) значно впливають на енергоефективність будівель. Традиційні методи термографічного обстеження обмежені доступністю, ризиками безпеки та ефективністю. Безпілотні літальні апарати (БПЛА) з тепловізорами забезпечують інноваційне рішення цих проблем.

У дослідженні використовувався дрон типу мультиротор з тепловізійною камерою роздільною здатністю 388рх, що працює в спектрі 7,5-13 мкм. Для оптимального збору даних впроваджено висхідний мульти-круговий шлях польоту навколо будівлі, який забезпечує перекриття зображень >90% для створення якісних 3D-моделей.

Обробка даних виконувалась із використанням відкритого програмного забезпечення WebODM (Web OpenDrone Map), що дозволяє генерувати 3D-термографічні моделі на основі методів фотограмметрії structure-from-motion (SfM). Зібрані теплові зображення калібрувались для забезпечення однорідного температурного діапазону з максимальним контрастом для точної ідентифікації теплових аномалій.

Дослідження проводилось у зимовий період при зовнішній температурі близько -8°C для забезпечення максимального температурного контрасту між внутрішнім і зовнішнім середовищем (рекомендована різниця $\geq 10^{\circ}\text{C}$).