

УДК 625.7/.8

ЗАСТОСУВАННЯ ГРАФЕНУ В АСФАЛЬТОБЕТОННОМУ ПОКРИТТІ

Чепурна К. О.¹, студ., Балашова Ю. Б.², канд. техн. наук, доц.

ННІ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

Українського державного університету науки і технологій

¹kara.naw.law.2004@gmail.com, ²balashova.yuliia@pdaba.edu.ua

Постановка проблеми. Впровадження інноваційних технологій у дорожнє будівництво дозволить створити стійку та екологічну інфраструктуру, що здатна протистояти зростаючим транспортним навантаженням та забезпечити довговічність шляхів нового покоління [1]. Однією із інноваційних технологій, яка спрямована на мінімізацію зносу дорожнього покриття і підвищення її експлуатаційних характеристик, є використання графену у дорожньому будівництві. Додавання цього матеріалу у верхній шар дорожнього одягу дозволяє суттєво збільшити міцність, деформаційну стійкість до формування дефектів (тріщини, колії), а також підвищити опірність до екстремальних навантажень, зумовлених інтенсивністю сучасного трафіку [2].

Мета дослідження. Аналіз функціонального потенціалу дорожніх покриттів із впровадженням алотропних модифікацій вуглецю, з подальшою систематизацією їхніх переваг та обмежень на основі експериментальних даних та польових випробувань, спрямованих на мінімізацію колієутворення, деформацій, а також підвищення довговічності та екологічності дорожнього одягу.

Результати дослідження. Графен, двовимірний алотроп вуглецю, за останнє десятиліття перетворився на ключовий матеріал для інновацій у різних галузях, зокрема в дорожньому будівництві. Його інтеграція в асфальтобетонні суміші обумовлена унікальними фізико-механічними властивостями, що дозволяють створювати більш міцні, довговічні та екологічно ефективні покриття. Проте масштабне впровадження технології стикається з низкою технічних та економічних викликів, які потребують подальшого вивчення [3].

Переваги графен-модифікованого асфальтобетону:

1. **Підвищення механічної міцності.** Графен збільшує модуль пружності асфальту на 20–40%, що значно знижує ризик утворення тріщин, вибоїн і колій навіть під високим навантаженням. Його добавка також підвищує опірність до деформацій при екстремальних температурах.

2. **Термостабільність.** Завдяки високій теплопровідності графену покриття ефективніше розподіляє тепло, зменшуючи температурне напруження. Це особливо важливо в регіонах із спекотним кліматом, де традиційний асфальт схильний до «плинності».

3. **Екологічність.** Використання графену дозволяє зменшити частку бітуму в суміші та інтегрувати вторинні матеріали (наприклад, пластикові відходи), знижуючи вуглецевий слід на 15–20 %. Також зменшення потреби в ремонтах скорочує викиди CO₂, пов'язані з виробництвом і транспортуванням матеріалів.

4. **Довговічність.** Експериментальні дані свідчать, що графен-асфальт служить на 30–50 % довше за традиційні аналоги, що забезпечує економію коштів на утримання доріг.

Недоліки та технічні обмеження:

1. **Висока вартість виробництва.** Синтез графену високої чистоти (понад 99 %) залишається енергоємним процесом, що робить матеріал дорожчим порівняно зі звичайними добавками.

2. **Агломерація частинок.** При концентрації понад 4 % графен схильний до утворення агрегатів, що порушує гомогенність суміші та погіршує її властивості.

3. *Чутливість до технологічних умов.* Температура змішування (оптимально 160–170 °С) та вибір зв'язуючих агентів (наприклад, силанові сполуки) критично впливають на якість кінцевого продукту.

4. *Зниження низькотемпературної пластичності.* Високий вміст графену (понад 3 %) може зменшити стійкість покриття до розтріскування в умовах морозу, що обмежує його застосування в холодних кліматичних зонах.

Світовий досвід впровадження:

1. Велика Британія. Проєкти: ділянки автомагістралей A1 (Нортумберленд) та A12 (Ессекс), міські дороги в Тіссайді. Технологія: суміші Genable™ Pavement (графен + перероблений асфальт) та Gīrave (графен + пластикові відходи). Результати: зменшення кількості вибоїв на 60 %, збільшення терміну служби на 40 %.

2. Італія. Проєкти: автострада A4 (Турин – Мілан), злітно-посадкові смуги аеропорту Ф'юмичіно (Рим). Технологія: композит Gīrave, що містить 6 % графену та 20 % переробленого пластику. Результати: підвищення жорсткості покриття на 35 %, зниження витрат на обслуговування на 25 %.

3. Північна Америка. США та Канада: тестування на автостоянках та випробувальних полігонах (програма SPaTS 2). Результати: стабільність при температурах від -30 °С до +50 °С, зменшення колієутворення на 50 %.

4. Нідерланди. Проєкт: велосипедні доріжки в Гронінгені з використанням графен-бітумних сумішей. Переваги: покращена зносостійкість та шумопоглинання.

Висновки. Графен-модифікований асфальтобетон є перспективним рішенням для глобальної транспортної інфраструктури, що поєднує високу продуктивність, екологічність та економічну ефективність. Незважаючи на технологічні бар'єри, світовий досвід (Велика Британія, Італія, Північна Америка) довів життєздатність цієї інновації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Балашова Ю. Б., Дем'яненко В. В., Трегуб О. В., Чепурна К. О., Балашов А. О. Застосування інноваційних технологій у будівництві покриттів автомобільних доріг. Український журнал будівництва та архітектури. 2024. № 3 (021). С. 19–32. URL: <http://uaajcea.pgasa.dp.ua/issue/view/18206/11107>

2. У Великій Британії побудували першу у світі дорогу з графеном. URL: <https://news.infocar.ua/u-velykiy-brytaniyi-pobuduvaly-pershу-u-sviti-dorohu-z-hrafenom-175984.html>

3. Zhen Liu, Xingyu Gu, Xiyang Dong, Bingyan Cui, Dongliang Hu. Mechanism and performance of graphene modified asphalt: An experimental approach combined with molecular dynamic simulations. Case Studies in Construction Materials: Volume 18, July 2023, e01749. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01749>