

# РОЗУМНІ ДОРОЖНІ ПОКРИТТЯ SOLAR ROADWAYS ЯК ЕЛЕМЕНТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ НЕЗАЛЕЖНОСТІ SMART CITY

Вінницький національний технічний університет

## **Анотація**

Дослідження зосереджується на впровадженні інтелектуальних дорожніх покриттів на основі сонячних панелей у загальну інфраструктуру розумних міст. В рамках цієї роботи розглядаються новаторські підходи в галузі проектування дорожнього полотна з надміцного текстурованого скла, оснащеного LED-підсвіткою та автоматизованими системами сніготанення. Створення таких технологічних транспортних артерій спрямоване на локальну генерацію відновлюваної енергії, підвищення безпеки руху в нічний час та зниження експлуатаційних витрат комунальних служб.

**Ключові слова:** смарт-сіті, розумні дороги, сонячні панелі, Solar Roadways, LED-розмітка, альтернативна енергетика.

## **Abstract**

The study focuses on the implementation of intelligent road surfaces based on solar panels into the overall infrastructure of smart cities. Within the framework of this work, innovative approaches in the field of roadbed design made of heavy-duty textured glass, equipped with LED lighting and automated snow melting systems, are considered. The creation of such technological transport arteries is aimed at local generation of renewable energy, increasing traffic safety at night and reducing the operating costs of public utilities.

**Keywords:** smart city, smart roads, solar panels, Solar Roadways, LED marking, alternative energy.

## **Вступ**

При створенні екологічно-дружніх міст використовуються високоефективні технології, які не тільки дозволяють знизити витрати, але й використовують поновлювані джерела енергії, забезпечуючи ефективне опалення та електроенергію за мінімальними витратами. Ці інноваційні методи не лише дозволяють зекономити кошти на енергозабезпеченні міської інфраструктури, але і сприяють створенню енергоефективного та екологічно чистого середовища.

Однією з таких передових технологій є метод побудови розумних доріг Solar Roadways, який відзначається високою міцністю конструкції та здатністю генерувати електричний струм. Також зведення магістралей із використанням модульних скляних панелей допомагає швидко та якісно замінити класичне асфальтобетонне покриття на інтелектуальну систему. Крім того, в даній роботі нами розглянуто інтеграцію розумного дорожнього полотна із загальною концепцією міського освітлення та управління трафіком. Використання таких рішень не лише сприяє суттєвому збереженню ресурсів на утримання доріг у зимовий період, але й спрямоване на підвищення безпеки водіїв та пішоходів.

## **Основна частина**

**Solar Roadways (сонячні дороги)** – це прогресивний інженерний підхід, де замість традиційного асфальту використовуються модульні панелі з надміцного загартованого скла з вбудованими фотоелементами. Конструкція таких систем базується на поєднанні електротехнічних компонентів, мікроконтролерів та спеціального шорсткого текстурованого верхнього шару, який забезпечує зчеплення автомобільних шин з дорогою на рівні звичайного асфальту [1].

Технологічний модуль розумної дороги є багатошаровою структурою. Верхній захисний шар виготовляється із загартованого скла, здатного витримувати статичні та динамічні навантаження від важкого вантажного транспорту масою до 40 тонн. Під склом розташовується плата з монокристалічними сонячними елементами, мікропроцесором для управління та програмованими LED-світлодіодами. Нижній шар відповідає за розподіл навантаження на дорожню основу та містить канали для комунікаційних кабелів [2].

Однією з основних переваг технології Solar Roadways є колосальна площа для збору сонячної радіації, адже автомобільні дороги та парковки займають значну частину території будь-якого сучасного міста. Згенерована електроенергія може живити прилеглі будинки, вуличні ліхтарі, а також станції швидкої зарядки для електромобілів безпосередньо під час їхнього руху. Крім того, динамічна LED-підсвітка дозволяє миттєво змінювати дорожню розмітку, виводити попередження про аварії чи

пішоходів, що значно покращує безпеку руху [3]. Вбудовані нагрівальні елементи повністю вирішують проблему зимової ожеледиці, автоматично розтоплюючи сніг та лід.

Характеристики цих інтелектуальних систем чітко вирізняють їх з-поміж стандартного дорожнього будівництва. Завдяки модульній структурі, ремонт покриття виконується за лічені хвилини шляхом заміни одного пошкодженого блока, без необхідності перекривати рух на всій вулиці та знімати шари асфальту. Наявність інтегрованих датчиків ваги дозволяє системі в реальному часі моніторити завантаженість траси та передавати дані до центрального контролера Smart City [4].

Основні технічні та експлуатаційні характеристики розумних доріг включають:

1. **Енергоефективність:** ККД вбудованих сонячних елементів становить 18–22%, що дозволяє одному кілометру двосмугової сонячної дороги забезпечувати електроенергією до 400 приватних будинків.
2. **Міцність конструкції:** Межа міцності загартованого текстурованого скла на стиск перевищує 250 МПа, що гарантує надійність навіть під дією коліс фур.
3. **Безпека та сніготанення:** Потужність системи підігріву становить 200–300 Вт/кв.м, що дозволяє утримувати дорогу чистою від снігу за температури до  $-15^{\circ}\text{C}$ .
4. **Швидкість монтажу:** Завдяки конвеєрному заводському виготовленню блоків розміром 3х3 метри, укладання 100 метрів покриття займає від 3 до 5 робочих днів.
5. **Орієнтовна вартість:** приблизна вартість влаштування розумних доріг порівняно з асфальтом наведена в таблиці (курс дол. США 44.94 грн.).

Тип дорожнього покриття	Вартість за 1 кв.м	Генерація енергії	Термін служби покриття
Класичний асфальтобетон	\$40 – \$70	Відсутня	5 – 7 років (до ремонту)
Модульна система Solar Roadways	\$280 – \$400	До 140 кВт·год / рік	Понад 20 років

Таблиця 1. Економічні показники фасадних систем

Важливим фактором є довгостроковий економічний аналіз: попри високу початкову вартість матеріалів та монтажу, розумні дороги здатні повністю окупити себе протягом 10–12 років експлуатації виключно за рахунок продажу згенерованої електричної енергії та ліквідації витрат на снігоприбиральну техніку і соляні суміші [5].

### Висновки

У сучасному містобудуванні концепція Solar Roadways представляє собою кардинальну зміну погляду на транспортну інфраструктуру. Перетворення пасивних дорожніх площ на активні генератори зеленої енергії дозволяє вирішити ключові виклики концепції Smart City, забезпечуючи сталий розвиток міст, автономне зимове утримання шляхів та якісно новий рівень безпеки дорожнього руху завдяки інтелектуальному комп'ютерному управлінню.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Квасній Л. Г., Глиняна Л. Б. Відновлювані джерела енергії в інфраструктурі «розумних міст» (Smart Cities). *Економіка та суспільство*. 2021. Вип. 27. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/421>
2. Костюк О. В., Кузнецова Н. В. Інтелектуальні транспортні системи в концепції розвитку сучасного міста. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2019. № 2 (13). С. 114–121.
3. Покриття автомобільних доріг: інноваційні матеріали та технології побудови. *Дорожні матеріали та автостради : науково-технічний збірник*. 2020. Вип. 104. С. 45–53.
4. Розумні дороги Solar Roadways: як технології змінюють уявлення про асфальт. *Будівельний портал України*. URL: <https://budport.com.ua/articles/1825-rozumni-dorogi-solar-roadways> (дата звернення: 17.06.2026).
5. Bazyka O., Sorokin V., Tarasenko O. Integration of photovoltaic elements into urban road infrastructure. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1032, No 1. P. 012044.

**Білоус Дмитро Анатолійович** – студент першого курсу, групи БМ-25м, Факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, [bilousd1524@gmail.com](mailto:bilousd1524@gmail.com)

**Bilous Dmytro Anatoliyovych** – first-year student of BM-25m group, Faculty of Civil Engineering, Civil and Ecological Engineering, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, [bilousd1524@gmail.com](mailto:bilousd1524@gmail.com)