

Самостійна робота №17

Тема : «Декарбонізація транспортної інфраструктури: використання відновлюваних джерел енергії (сонце, вітер) для енергозабезпечення логістичних терміналів, вокзалів та депо»

Сучасний транспортний сектор є одним із ключових джерел глобальних викидів парникових газів, на який припадає близько чверті загального обсягу викидів CO₂ в енергетичному секторі світу. У контексті глобальних кліматичних викликів, зокрема цілей Паризької угоди та європейського «Зеленого курсу» (European Green Deal), декарбонізація стає не просто екологічним трендом, а економічною та технологічною необхідністю. При цьому фокус уваги поступово зміщується не лише на переведення рухомого складу на електричну чи водневу тягу, а й на глибоку трансформацію інфраструктурного забезпечення — логістичних терміналів, залізничних вокзалів, депо та портів. Впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЄ), зокрема сонячної та вітрової, дозволяє перетворити ці об'єкти з пасивних споживачів енергії на активних продюсерів, здатних забезпечувати власні енергетичні потреби та підтримувати стійкість національних енергосистем.

Теоретико-методологічні засади декарбонізації транспортної інфраструктури

Декарбонізація транспортної інфраструктури охоплює комплекс технічних, організаційних та управлінських заходів, спрямованих на мінімізацію або повне усунення викидів вуглекислого газу на всіх етапах функціонування транспортних вузлів. Традиційно логістичні центри, депо та вокзали споживають величезні обсяги електроенергії та тепла для забезпечення освітлення, опалення, кондиціювання, роботи сигнальних систем, заряджання електромобілів та маневрової техніки.

Енергетичний перехід базується на трьох принципах:

- **Енергоефективність:** зменшення абсолютного споживання енергії за рахунок термомодернізації будівель, LED-освітлення та інтелектуальних систем управління (Smart Grid/Smart Building).
- **Електрифікація:** повна відмова від викопного палива (газу, вугілля, нафтопродуктів) у внутрішніх процесах інфраструктури.
- **Генерація з ВДЄ:** інтеграція локальних джерел сонячної та вітрової енергії безпосередньо на території об'єктів або в безпосередній близькості до них.

Потенціал та особливості використання сонячної енергетики

Сонячна енергетика є найбільш доступною та масштабованою технологією для декарбонізації наземної транспортної інфраструктури завдяки наявності величезних площ горизонтальних і похилих поверхонь.

Дахи та фасади будівель

Вокзали, логістичні ангари, складські приміщення та ремонтні депо мають тисячі квадратних метрів дахів, які ідеально підходять для монтажу фотоелектричних (ФЕ) панелей. На відміну від житлового сектору, промислові та логістичні дахи зазвичай не затінені сусідніми будівлями, що забезпечує максимальний коефіцієнт використання встановленої потужності.

- **Приклад:** Центральний залізничний вокзал Антверпена та великі логістичні хаби в Нідерландах активно використовують дахові сонячні станції. Зокрема, складські комплекси компанії Prologis у Європі оснащені сонячними

панелями загальною потужністю в сотні мегават, які повністю покривають потреби внутрішньої логістики, освітлення та живлення зарядних станцій для електровантажівок.

Інтегрована сонячна енергетика

Сучасні технології дозволяють інтегрувати сонячні елементи в будівельні конструкції (Building-Integrated Photovoltaics): навіси над перонами вокзалів, паркінги для легкового та вантажного транспорту (solar carports), а також прозорі або напівпрозорі елементи фасадів. Паркінги логістичних терміналів із сонячними навісами виконують подвійну функцію: захищають транспорт від несприятливих погодних умов та генерують екологічно чисту електроенергію для заряджання електромобілів.

Роль вітрової енергетики в енергозабезпеченні транспортних вузлів

Хоча вітрова енергетика частіше асоціюється з масштабними наземними чи офшорними парками, її застосування безпосередньо на транспортних об'єктах має свою специфіку та значний потенціал.

Мала вітрова генерація та вертикально-осьові турбіни

На великих відкритих територіях логістичних терміналах, вздовж залізничних колій та портових зонах часто спостерігаються стабільні повітряні потоки. Встановлення компактних вітрових турбін (особливо вертикально-осьових систем типу Савоніуса чи Дар'є, які не залежать від напрямку вітру і працюють навіть за турбулентних потоків) дозволяє забезпечити автономне живлення систем освітлення, відеоспостереження, сигналізації та невеликих адміністративних будівель.

Гібридні енергетичні системи (Сонце + Вітер)

Найбільш ефективним рішенням для транспортної інфраструктури є створення гібридних систем, де сонячна та вітрова генерація доповнюють одна одну. У помірних широтах пік сонячної активності припадає на весняно-літній період та денний час, тоді як генерація вітрової енергії часто зростає восени та взимку, а також у нічні години. Така синергія забезпечує більш збалансований графік надходження електроенергії до мікромереж (microgrids) депо та вокзалів, мінімізуючи потреби в дорогих акумуляторних батареях великої ємності.

Практичне застосування на ключових об'єктах транспортної інфраструктури **Логістичні термінали та розподільчі центри**

Сучасний логістичний термінал — це енергоємний комплекс, що включає автоматизовані системи сортування вантажів, холодильні установки для зберігання продуктів харчування та медикаментів, а також парки акумуляторних навантажувачів.

- Використання сонячних панелей на дахах у поєднанні з системами накопичення енергії (Energy Storage Systems — ESS) дозволяє нівелювати пікові навантаження в мережі.
- Наприклад, у порту Роттердама багато терміналів переходять на самозабезпечення завдяки поєднанню дахової сонячної генерації та вітряків, встановлених на причальних стінках, що забезпечує енергією портові крани та електротягачі.

Залізничні вокзали та станції

Крупні залізничні вузли споживають електроенергію не лише для інфраструктури пасажирських терміналів, а й для забезпечення руху поїздів.

- У Великій Британії ініціатива *Renewable Revolution* компанії Network Rail передбачає будівництво спеціалізованих сонячних та вітрових ферм виключно для

живлення залізничної мережі. Проєкт *Solar for Rail* уряду Нідерландів демонструє, як сонячні панелі, розміщені вздовж колій та на дахах вокзалів, забезпечують до 15% потреби залізничного транспорту регіону.

Локомотивні та моторвагонні депо

Депо є місцем обслуговування, ремонту та тривалого відстою рухомого складу. Тут спостерігається високе споживання електроенергії для зварювальних робіт, діагностики, обігріву вагонів у зимовий період та зарядки акумуляторів маневрових локомотивів.

- Монтаж дахових станцій на депо дозволяє покривати технологічні потреби під час денної зміни. Надлишки енергії спрямовуються на заряджання стаціонарних буферних накопичувачів, які потім використовуються для швидкої зарядки електромобілів працівників або акумуляторів гібридних маневрових локомотивів.

Технічні виклики та економічні аспекти інтеграції ВДЕ

Незважаючи на очевидні екологічні переваги, процес декарбонізації транспортної інфраструктури стикається з низкою викликів:

1. **Інтермітентність (нестабільність) генерації:** Виробіток сонячної та вітрової енергії залежить від погодних умов і часу доби. Вирішенням цієї проблеми є впровадження систем накопичення енергії (літій-іонні, сольові або залізо-повітряні акумулятори) та інтеграція технологій *Vehicle-to-Grid* (V2G), коли електромобілі, що перебувають на відстійі в депо, можуть віддавати надлишок енергії назад у мережу.

2. **Високі початкові інвестиції (CAPEX):** Капітальні витрати на встановлення сонячних панелей, вітрових турбін та систем управління енергією є суттєвими. Проте зниження вартості фотоелектричних елементів за останнє десятиліття та механізми "зелених" інвестицій забезпечують окупність проєктів у межах 5–8 років.

3. **Регуляторні та мережеві обмеження:** Підключення потужних локальних електростанцій до внутрішніх мереж транспортних підприємств вимагає модернізації трансформаторних підстанцій та погодження з операторами систем розподілу (обленерго).

Декарбонізація транспортної інфраструктури через використання сонячної та вітрової енергії є критично важливим елементом глобальної кліматичної стратегії. Трансформація логістичних терміналів, вокзалів і депо на енергонезалежні об'єкти дозволяє не лише суттєво скоротити викиди вуглекислого газу, а й підвищити енергетичну стійкість транспортної галузі в умовах криз. Поєднання дахових фотоелектричних систем, малої вітроенергетики та інтелектуальних систем управління енергією перетворює транспортні вузли на драйвери сталого розвитку та зеленої економіки майбутнього.