

Рекомендації щодо заходів з підвищення енергоефективності електротранспорту для комунальних підприємств та міст України

Зміст

Вступ	3
Рекомендовані заходи	4
Оновлення рухомого складу (РС)	4
Перехід з РС з реостатними системами керування на РС з електронними системами.	4
Заміна РС з електронними системами без рекуперації на РС з електронними системами з рекуперацією:	4
Модернізація тягової мережі	5
Заміна кабельних ліній (збільшення перерізу) та улаштування підсилюючих ліній.	5
Встановлення суперконденсаторних накопичувачів на тягових підстанціях:	5
Заміна трансформаторів та перетворювальних агрегатів:	5
Генерування електроенергії для власних потреб	6
Влаштування сонячних електростанцій (СЕС) на дахах депо та адміністративних будівель.	6
Організаційне та інституційне забезпечення	6
Проведення енергоаудиту:	6
Зменшення кількості гальмувань та розгонів рухомого складу:	6
Рекомендації щодо втілення	7

Вступ

Енергоспоживання є однією з основних складових витрат підприємств міського електротранспорту (МЕТ), причому 86,4% загального споживання електроенергії припадає саме на тягу рухомого складу. Протягом останніх 10 років в Україні спостерігається значне зменшення витрат електроенергії на тягу (на 27,2%), яке випереджає зменшення об'ємів руху (на 8,5%). Це свідчить про позитивний вплив заміни енергоємного рухомого складу на економічніший. Подальше підвищення енергоефективності є важливим завданням для МЕТ, особливо в умовах обмежених ресурсів та потреби у сталому розвитку.

Рекомендації, представлені ГО "Vision Zero", ґрунтуються на аналітичному дослідженні **"Енергоефективність електричного транспорту"**. Дослідження, проведене у 2024-2025 роках, базувалося на щорічних даних за 2014-2023 роки, отриманих від 17 міст України, а також даних від європейських міст та досліджень, зокрема, у Польщі. Звіт висвітлив, що рухомий склад є основним споживачем електроенергії й природно, дає простір для подальшого підвищення енергоефективності. Аналіз також показав, що тягові мережі та підстанції є "відстаючою ланкою" підприємств електротранспорту, з втратами у тяговій мережі, що становлять у середньому 18% від витрат на тягу. Крім того, в середньому 10-15% від усього споживання електроенергії підприємствами складають технологічні витрати (робота ремонтного обладнання в депо, адміністративні будівлі, диспетчерські тощо).

Ключові висновки дослідження наголошують на необхідності комплексного підходу до підвищення енергоефективності електротранспорту в Україні. Запропоновані заходи включають, по-перше, оновлення рухомого складу, яке може відбуватися шляхом закупівлі нового або вживаного енергоефективного транспорту, а також модернізації існуючих трамваїв, що, за розрахунками, дозволить зменшити споживання електроенергії на тягу понад 30%. По-друге, важливою є модернізація системи електропостачання, зокрема тягових мереж, шляхом улаштування підсилюючих ліній, зміни перерізу кабелів та контактних проводів під час ремонту або реконструкції, а також заміни трансформаторів і перетворювальних агрегатів, що дозволить знизити втрати з 17% до 9-11%. Для повнішого використання енергії рекуперації, особливо в періоди малих навантажень, рекомендується встановлення суперконденсаторних накопичувачів на тягових підстанціях (ємністю 1,5-3,0 кВт·год та потужністю 150-300 кВт). По-третє, для зменшення технологічних витрат підприємствам МЕТ слід розглядати будівництво дахових сонячних електростанцій та термомодернізацію депо й адмінбудівель. Ці кроки мають на меті не лише підвищити енергоефективність, але й покращити загальний стан міського електротранспорту

Рекомендовані заходи

Оновлення рухомого складу (РС)

Оновлення РС є **найбільш впливовим способом зменшення витрат електроенергії** в роботі підприємств МЕТ. Перехід на сучасні системи керування дозволяє значно підвищити ефективність.

Перехід з РС з реостатними системами керування на РС з електронними системами.

Трамваї: Наразі трамваї з реостатними системами керування в Україні споживають у середньому **3,60 кВт·год/км**. Ці системи розсіюють надлишкову енергію під час розгону та гальмування у вигляді тепла, що призводить до втрат. Існує значний потенціал для заміни, оскільки **46,6% (443 одиниці)** трамваїв у досліджуваних містах та понад 68% (1330 одиниць) по всій Україні в цілому все ще мають реостатні системи.

Тролейбуси: Тролейбуси з реостатними системами споживають у середньому **2,60 кВт·год/км**. Хоча їх частка менша, **30% (441 одиниця)** все ще потребують заміни.

Рекомендації щодо втілення:

Для трамваїв доцільною є **модернізація** наявних вагонів шляхом заміни систем керування та допоміжного електрообладнання. Вартість такого комплексу складає орієнтовно **4,4 млн. грн. за вагон**, а окупність інвестицій становить приблизно **5,33 роки** при пробігу 298 тис. км. Це особливо актуально з огляду на високу вартість нових трамваїв та їхній довший термін служби.

Для тролейбусів з енергоємними системами керування **більш ефективною є повна заміна** на новий або вживаний рухомий склад. Це пов'язано з тим, що більшість таких тролейбусів є фізично та морально застарілими, а вартість їх модернізації, через високу частку систем керування у ціні, матиме низький ефект.

Заміна РС з електронними системами без рекуперації на РС з електронними системами з рекуперацією:

Принцип рекуперації: Системи з рекуперацією дозволяють **повертати енергію, яка генерується під час гальмування**, назад у тягову мережу для використання іншими споживачами. Це значно підвищує енергоефективність, оскільки за відсутності рекуперації енергія розсіюється на гальмівних реостатах у вигляді тепла. **Споживання:** Трамваї з електронними системами **без рекуперації** споживають у середньому **2,70 кВт·год/км**, тоді як з **рекуперацією** – **2,24 кВт·год/км**. Тролейбуси з електронними системами **без рекуперації** споживають **2,07 кВт·год/км**, а з **рекуперацією** – **1,33 кВт·год/км**.

Вигоди: Рекуперативне гальмування може забезпечити **економію електроенергії до 35%**.

Модернізація тягової мережі

Модернізація тягових мереж є другим за важливістю фактором, що може підвищити енергоефективність роботи підприємств МЕТ, оскільки втрати у тяговій мережі в середньому по Україні складають близько 17% від загальних витрат на тягу.

Заміна кабельних ліній (збільшення перерізу) та улаштування підсилюючих ліній.



Фото: Мюнхен, Німеччина, поздовжньо-ланцюгова підвіска контактної мережі, де поздовжні несучі троси одночасно виконують роль підсилюючих ліній, джерело: панорами google maps

Мета: Зменшення електричного опору провідників, що призводить до **зменшення втрат**. Втрати у кабельних мережах складають близько чверті втрат у тяговій мережі. **Заходи:**

Використання кабелів більшого перерізу або прокладання здвоєних кабельних ліній.

Будівництво **підсилюючих ліній** (окремих або як частини конструктиву при поздовжньо-ланцюговій підвісці), особливо для трамвайних мереж. Ці лінії дозволяють зменшити втрати на ділянці вдвічі, що може забезпечити **економію електроенергії на 10-12%** на ділянках з високою інтенсивністю руху. В Україні такі лінії застосовуються рідко, лише в окремих випадках зумовлених виключно технічними потребами, а не економічним обґрунтуванням.

Оптимізація секціонування тягової мережі: Перенесення розрізів для вирівнювання навантаження фідерів та зменшення середньої густини струму. Завантажені ділянки також можуть використовувати **двостороннє живлення від двох підстанцій**, що зменшує втрати та підвищує ефективність використання енергії рекуперації.

Встановлення суперконденсаторних накопичувачів на тягових підстанціях:



Фото: Експериментальний блок суперконденсаторів. 1 – суперконденсатори сумарною ємністю 0,7 кВт·год, 2 – DC/DC перетворювач потужністю 150 кВт, 3 – пристрій захисту та фільтри, джерело: *Mikołaj Bartłomiejczyk, Slobodan Mircevski. Reducing of energy consumption in public transport – Results of experimental exploitation of super capacitor energy bank in Gdynia trolleybus system: 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, Antalya, Turkey, 2014*

Мета: Максимізувати використання енергії рекуперації, особливо на ділянках з низькою інтенсивністю руху або у вечірні години, коли немає інших споживачів енергії.

Принцип роботи: Накопичувачі приймають енергію рекуперації та зберігають її для подальшого використання, коли з'являється споживання. Це запобігає втратам енергії, яка в іншому випадку розсіюється на гальмівних реостатах.

Технічні параметри: Рекомендується встановлювати суперконденсаторні накопичувачі ємністю **1,5-3,0 кВт·год** та робочою потужністю **150-300 кВт**. Суперконденсатори є більш оптимальним рішенням, ніж акумулятори, завдяки їхній здатності працювати з на два порядки більшими струмами заряду/розряду.

Заміна трансформаторів та перетворювальних агрегатів:

Цей захід сприяє зменшенню втрат у системі електропостачання та є частиною загальної модернізації тягових підстанцій. Під час технічного переоснащення або реконструкції

підстанцій варто розглядати використання трансформаторів екодизайну зі зменшеними втратами.

Підвищення напруги: Хоча в Україні діють жорсткі норми, що встановлюють номінальну напругу на рівні 600 В, **підвищення напруги (наприклад, до 750 В, як це зробили у Берліні)** може дозволити зменшити втрати або забезпечити роботу більшої кількості рухомого складу з меншими капіталовкладеннями. Це вимагає зміни нормативної бази.

Генерування електроенергії для власних потреб

Влаштування сонячних електростанцій (СЕС) на дахах депо та адміністративних будівель.



Фото: трамвайне депо №2 у Львові пропозиція генерування електроенергії із відновлювальних джерел (ВДЕ) шляхом розміщення сонячних електростанцій (СЕС) на дахах та територіях транспортних підприємств для власного споживання

Мета: Часткове покриття технологічних потреб підприємства (ремзони, побутові та адміністративні приміщення), які становлять **10-15% від усього споживання електроенергії.**

Приклад Вінниці: Вінницьке підприємство МЕТ встановило фотопанелі потужністю 100 кВт, які за 2,5 місяці роботи (осінь-зима) згенерували 7228 кВт·год. Загальна площа дахів депо у Вінниці може вмістити близько 1700 кВт потужності СЕС, здатних виробляти 1,818 млн кВт·год на рік, що покрито б 77% технологічних потреб у 2023 році. Це є оптимальним варіантом з точки зору простоти будівництва та обслуговування.



Фото: сонячна електростанція (СЕС) загальною потужністю 100 кВт на даху депо КП «Вінницька транспортна компанія», джерело: Вінницька міська рада

Організаційне та інституційне забезпечення

Проведення енергоаудиту:

Необхідно проводити енергоаудит нетягових споживачів для оптимізації їх роботи, особливо в містах, де технологічні витрати є високими (наприклад, Запоріжжя, Кам'янське, Дніпро, Миколаїв). Це допоможе виявити локальні причини неефективності, такі як надмірні розміри будівель або великі втрати тепла.

Зменшення кількості гальмувань та розгонів рухомого складу:

Хоча джерела акцентують увагу на технічних рішеннях (оптимізація тягової мережі, рекуперация), зменшення втрат через цикли гальмувань та розгонів також може бути досягнуто через ефективне планування та організацію руху. Але це не було основним напрямком дослідження. Джерела не містять детальної інформації про зменшення кількості гальмувань та розгонів рухомого складу саме через виділене полотно, організацію руху чи надання зеленого світла перед світлофорами. Пріоритет віддається технологічним рішенням для підвищення енергоефективності.

Рекомендації щодо втілення

Пріоритизація оновлення РС: Зважаючи на те, що **витрати на тягу складають 86,4%** від загального споживання, оновлення рухомого складу є головним заходом з підвищення енергоефективності.

Техніко-економічні розрахунки: Перед впровадженням підсилюючих ліній, систем накопичення енергії та інших модернізацій тягової мережі, необхідно проводити **індивідуальні техніко-економічні розрахунки** для кожної ділянки мережі та підстанції.

Енергоаудити нетягових споживачів: Містам із високими витратами на технологічні потреби варто першочергово провести енергоаудит для виявлення та усунення неефективності.

Комплексний підхід: Підвищення енергоефективності вимагає комплексного підходу, що включає оновлення РС, модернізацію інфраструктури електропостачання та оптимізацію споживання на власні потреби підприємств.