

УДК 629.424:62-83:629.4.001.63:629.4.001.24  
DOI: 10.34029/2311-4061-2025-156-3-13-22



*Канд. техн. наук  
Маслій А.С.*



*Д-р техн. наук  
Буряковський С.Г.*



*Канд. техн. наук  
Маслій А.С.*



*Аспірант  
Геврасьов В.А.*



*Аспірант  
Антоненко Р.М.*

## **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЯГОВОГО РУХОМОГО СКЛАДУ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІБРИДНИХ PLUG-IN СИСТЕМ**

**IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF TRACTION ROLLING STOCK BY IMPLEMENTING  
PLUG-IN HYBRID SYSTEMS**

*Ключові слова:* залізничний транспорт, тяговий рухомий склад, plug-in гібридні тягові системи, накопичувачі енергії, тягові двигуни, оптимізація систем керування.

### **Вступ**

На сьогоднішній день спостерігається активний розвиток технологій накопичення енергії, зокрема літій-іонних акумуляторів, суперконденсаторів та інших типів електричних батарей [1, 2]. Вони стають більш ефективнішими, легшими та дешевшими у виробництві, що відкриває широкі можливості для їхнього використання у транспортній сфері. На залізницях це дає змогу поєднувати традиційні джерела постачання енергії – контактну мережу та дизельні двигуни – з сучасними енергетичними накопичувачами. Таке поєднання дозволяє створювати так звані PLUG-IN гібридні системи живлення для тягового рухомого складу. Енергетичні накопичувачі також можуть

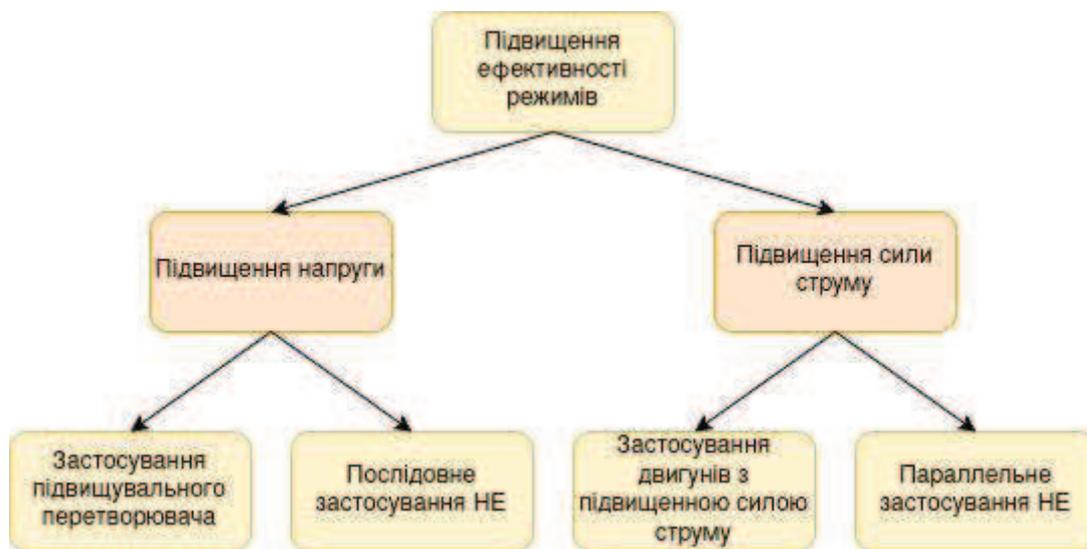
використовуватися для рекуперації енергії гальмування поїзду, що підвищує енергоефективність руху, або як резервне джерело енергії для тяги на ділянках без контактної мережі. У поєднанні з дизелем це дає можливість зменшити витрати палива та викиди шкідливих речовин у довкілля, а також знизити рівень шуму. Такий підхід стає перспективним кроком у напрямку сталого розвитку залізничного транспорту.

**Мета роботи** полягає у вивченні та аналізі ефективності використання енергетичних накопичувачів у гібридних системах живлення тягового рухомого складу залізничного транспорту. Зокрема, досліджуються переваги та недоліки різних типів з'єднання накопичувачів енергії (послідовне та паралельне) в контексті підвищення їх енергоефективності, зниження експлуатаційних витрат, зменшення викидів шкідливих речовин і забезпечення більшої автономії рухомого складу. Окрім того, метою роботи є розробка рекомендацій щодо оптимізації енергетичних потоків у тяговому приводі та вибору його найбільш ефективної схеми для сучасного залізничного транспорту, з урахуванням вимог сталого розвитку та найбільшої екологічної безпеки.

#### **Аналіз конструктивних особливостей побудови залізничних гібридних тягових систем**

Plug-in гібридна тягова система у залізничному транспорті – це тип тягової енергосистеми, яка поєднує традиційне джерело живлення - контактну мережу або двигун внутрішнього згорання з накопичувачем енергії, який має можливість заряджатися від зовнішньої електромережі [3]. Тобто, крім заряду в рухомій одиниці під час її руху в режимі рекуперації, накопичувачі енергії можуть попередньо заряджатися і в депо. Такі системи дозволяють тяговому рейковому транспорту працювати на збереженій електроенергії без постійного підключення до контактної мережі, що особливо важливо на ділянках із частковою або відсутньою електрифікацією. Plug-in гібриди також зменшують споживання палива та викиди CO<sub>2</sub> в атмосферу, покращують енергоефективність тягового рухомого складу (ТРС) і забезпечують більш гнучке керування його енергетичними потоками, що робить їх перспективними для сучасного екологічного транспорту [4]. Крім того, plug-in гібридна тягова система забезпечує гнучкість у виборі потоків енергії для тяги від джерела постачання енергії: тягова рухома одиниця може працювати від енергії з контактної мережі, двигуна внутрішнього згорання, накопичувача енергії або їх комбінації. Це особливо вигідно для ділянок, як зі змішаною електрифікацією, так і з різними родами струму, де на ТРС доводиться використовувати складні системи приводу.

Накопичувачі енергії (НЕ) можуть інтегруватися в тягову систему залізничного транспорту як у послідовному, так і в паралельному режимі з'єднання, відносно основних джерел живлення – контактної мережі або двигуна внутрішнього згорання. Підвищення ефективності режимів роботи електроприводних систем на електрорухомому складі (ЕРС) може досягатися як за рахунок підвищення напруги у системі, так і за рахунок збільшення сили струму (рис. 1).



*Рис. 1 - Методи підвищення ефективності режимів живлення електроприводних систем залізничного електрорухомого складу*

Зокрема, підвищення напруги можливе не лише шляхом використання на ТРС підвищувальних перетворювачів, але й завдяки послідовному підключенню НЕ, що дозволяє забезпечити більш стабільне та ефективніше живлення тягового обладнання. З іншого боку, збільшення сили струму може бути реалізовано не тільки через використання тягових електродвигунів, розрахованих на вищу силу струму, а й шляхом паралельного підключення НЕ, що сприяє зменшенню навантаження на джерела постачання енергії та покращенню динамічних характеристик тягового електричного приводу (ТЕП) ТРС.

**Послідовне з'єднання накопичувачів енергії в тяговій системі ЕРС** є перспективним рішенням для підвищення ефективності енергоспоживання та покращення тягових характеристик ЕРС залізниць. Схемне рішення такого підходу представлено на рисунку 2.

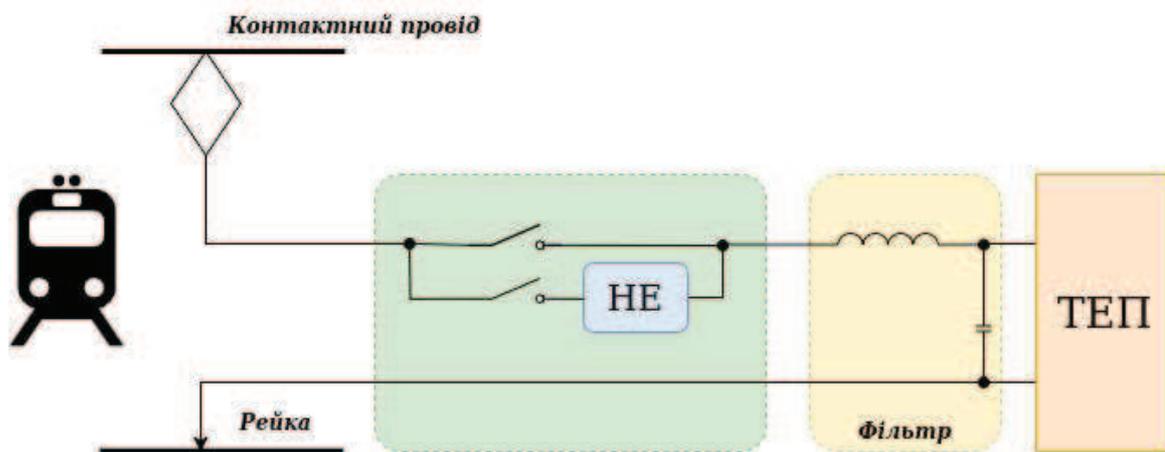


Рис. 2 - Схема послідовного підключення накопичувача енергії у систему живлення тягової електричної передачі залізничного електрорухомого складу

Згідно результатів досліджень [5] така конфігурація дозволяє використовувати накопичену під час рекуперативного гальмування енергію для живлення тягового приводу ЕРС, що знижує споживання енергії на тягу з контактної мережі та підвищує коефіцієнт корисного використання енергії рухомою одиницею за рахунок зменшення втрат у мережі, зниження пікових навантажень.

Накопичувач енергії має нижчу напругу порівняно з контактною мережею. Він підключається послідовно лише в моменти, коли напруга мережі падає нижче певного рівня або коли необхідно підвищити напругу на тяговому електроприводі для покращення тягових характеристик, особливо при високих навантаженнях або при живленні з низькими показниками якості. Перемикач між режимами живлення, виключно від контактної мережі чи одночасно від мережі та НЕ, здійснюється автоматично відповідними контролерами з високочастотними напівпровідниковими елементами. Це дозволяє оперативнo керувати режимами живлення та підтримувати стабільну роботу ЕРС. Для згладжування імпульсів напруги, які виникають у процесі комутації, застосовується вихідний LC-фільтр.

Однією з ключових переваг такого підходу є можливість роботи з менш стабільними або обмеженими за потужністю джерелами живлення. Наприклад, якщо потужність контактної мережі на певних ділянках недостатня для забезпечення повноцінного тягового навантаження, НЕ може запасти енергію в періоди зниженого споживання, а потім видавати її у пікові моменти. Це дозволяє зменшити вимоги до інфраструктури, уникнути перевантаження мережі та підвищити надійність енергопостачання.

У разі використання у ТРС дизельного генератора в послідовній схемі, він може працювати в оптимальному режимі, постійно заряджаючи НЕ без необхідності частої зміни обертів або навантаження. Це значно знижує споживання палива, рівень шуму та викидів шкідливих речовин. Дизель у такому випадку виконує функцію енергетичного джерела другого порядку – він не безпосередньо живить тягові двигуни, а лише забезпечує заряд НЕ.

**Паралельне з'єднання накопичувача енергії в тяговій системі ТРС** означає, що НЕ працює одночасно з основним джерелом енергії – контактною мережею або дизельним двигуном – забезпечуючи додаткову потужність тягової одиниці, у міру необхідності. Обидва джерела

під'єднані до одного енергоспоживача – тягового електричного приводу – і можуть динамічно компенсувати перенавантаження один одного (рис. 3). Такий підхід забезпечує високу гнучкість системи, адаптацію її до різних режимів руху, спрощену інтеграцію в існуючий рухомий склад та гнучке використання рекуперативної енергії, що в комплексі підвищує ефективність енергоспоживання ТРС.

У режимі розгону поїзда, коли виникає короткочасне підвищене навантаження, основне джерело може не справлятися з піковим споживанням енергії. Як зображено на рисунку 3, у цьому випадку НЕ підключається паралельно тяговому ланцюгу й допомагає компенсувати нестачу енергії у системі, зменшуючи навантаження на контактну мережу або дизель. Завдяки цьому можна уникнути перевантажень тягового обладнання ТРС, зменшити просідання напруги у контактній мережі, а також збільшити ресурс дизельного двигуна, запобігаючи його роботі в граничних режимах з перенавантаженням.

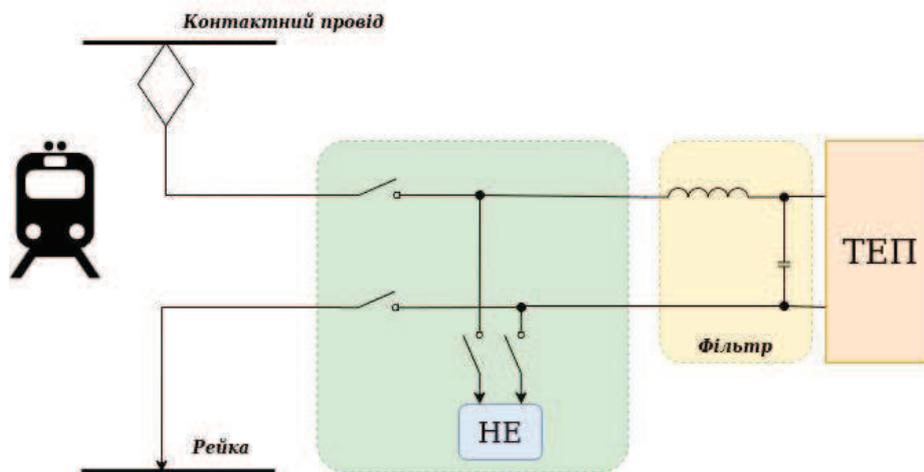


Рис. 3 – Схема паралельного підключення накопичувачів енергії у систему живлення тягової електричної передачі залізничного електрорухомого складу

У фазі гальмування ТРС, коли активується рекуперация, НЕ приймає надлишкову енергію, яку неможливо повернути в мережу або яка, в іншому випадку, могла б бути розсіяна у атмосфері через відповідний пристрій дизельного локомотива. У паралельній схемі НЕ автоматично накопичує цю енергію та згодом повертає її в тягову систему, що значно покращує енергоефективність ЕРС [6]. Це дозволяє не лише заощадити енергію, а й зменшити навантаження на гальмівні системи поїзда, особливо в умовах частих зупинок, як при водінні міських чи приміських пасажирських поїздів.

Паралельне з'єднання дає змогу створювати адаптивні системи керування енергоспоживанням ТРС. Наприклад, у моменти зниження навантаження або зменшення тягової потужності ТРС, система може автоматично перемикає пріоритет живлення тягової передачі на НЕ, зменшуючи споживання енергії з контактної мережі або з дизеля. Це особливо корисно на ділянках з обмеженою потужністю мережі живлення або в тунелях, де важливо знизити рівень шуму та викидів у довкілля. Завдяки паралельному підключенню, НЕ може діяти також як резервне джерело живлення у разі аварійного відключення контактної мережі або зупинки дизеля. Це підвищує надійність роботи ТРС та безпеку пасажирських перевезень. Крім того, така система дозволяє ефективніше використовувати електроенергію на нерегулярних маршрутах, де електрифікація є частковою або нестабільною.

**Відмінності між послідовним і паралельним з'єднанням накопичувача енергії з тяговою системою ТРС на залізничному транспорті** полягає не лише в застосованій електричній схемі їх з'єднання, а й у принципі взаємодії джерел живлення у системі та, як результат, для роботи локомотива у складі поїзда. Основні відмінності з точки зору результату цієї взаємодії наведені у таблиці 1.

Табл. 1 – Порівняння впливів різних схем з'єднань накопичувачів енергії з тяговою системою електричного та автономного рухомого складу на його роботу на залізничному транспорті

Тип з'єднання накопичувача енергії	Послідовне	Паралельне
Переваги	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Повний контроль енергопотоків: уся енергія проходить через НЕ, що дає можливість точно керувати споживанням енергоресурсів.</li> <li>● Згладжування навантажень: зменшується пікове навантаження на контактну мережу або тяговий дизель-генератор.</li> <li>● Висока ефективність рекуперації: уся енергія від гальмування прямує в НЕ з мінімальними втратами.</li> <li>● Зменшення зношення мережевої інфраструктури: немає пікових струмів при розгоні ТРС.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Висока динамічність системи: джерело живлення (мережа чи дизель) напругу живить тяговий електродвигун, що забезпечує швидку реакцію на зміну навантаження.</li> <li>● Підвищення потужності при розгоні: НЕ надає додаткову енергію живлення в пікові моменти.</li> <li>● Проста інтеграція: легше реалізувати на вже існуючому обладнанні ТРС.</li> <li>● Гнучке використання рекуперації: частина енергії йде в мережу або в -НЕ, залежно від потреб.</li> </ul>
Недоліки	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Обмежена автономність: НЕ лише допоміжний пристрій і, не забезпечує повноцінного руху ТРС без основного джерела постачання енергії.</li> <li>● Складність керування: потрібна складна система управління енергетичним буфером.</li> <li>● Затримка в реакції: обмежена швидкість реагування на зміну навантаження на тягову передачу.</li> <li>● Потенційні втрати енергії через її перетворення внаслідок наявності додаткового ступеня між джерелом енергії та тяговим обладнанням ТРС.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Можливі втрати енергії у режимі рекуперації ТРС: якщо мережа перевантажена, частина енергії не може бути прийнята від ТРС.</li> <li>● Зростає навантаження на інфраструктуру: пікові струми залишаються, що вимагає наявності міцної енергомережі.</li> </ul>

**Загальні позитивні наслідки від використання накопичувачів енергії на ТРС, при їх послідовному чи паралельному з'єднанні з тяговою системою, полягає у покращенні енергоефективності тяги поїздів, оптимізації роботи тягового приводу та стабілізації енергоподачі у електричних мережах залізниць. При цьому досягаються наступні позитивні ефекти.**

- Отримання буферної ролі накопичувача. В обох випадках НЕ працює як енергетичний буфер: він накопичує надлишкову енергію (наприклад, при гальмуванні) і віддає її при потребі (наприклад, при розгоні поїзду).

- Підвищення енергоефективності. Обидві схеми дозволяють зменшити споживання енергії з основного джерела постачання енергії (мережі чи дизеля), що веде до економії палива або електроенергії. Завдяки рекуперації зменшуються експлуатаційні витрати та викиди парникових газів у довкілля.

- Покращення динамічних характеристик ТРС. Обидва типи підключення НЕ забезпечують додаткову потужність тягового приводу ТРС на старті чи при його русі на підйомі, що зменшує навантаження на головне джерело живлення.

- Підвищення надійності системи. НЕ допомагають підтримувати стабільну роботу тягової системи при короткочасних перебоях або просіданнях напруги у електричній мережі.

• Можливість модернізації існуючого ТРС. Обидві схеми можуть бути інтегровані у вже наявний тяговий рухомий склад (електровози, тепловози, електропоїзди, дизель-поїзди тощо), без необхідності повної заміни його тягової системи.

З огляду на зроблений аналіз переваг і недоліків обох типів підключення НЕ до електричної тягової передачі ТРС – найбільш доцільним є паралельне з'єднання. Його основні переваги:

- проста інтеграція у вже існуючу тягову систему ТРС, що дає змогу модернізувати рухомий склад без необхідності глибоких змін конструкції;
- гнучке використання рекуперативної енергії ЕРС, що дозволяє частково повертати енергію в мережу або накопичувати її залежно від ситуації;
- висока динамічність і швидка реакція тягової системи ТРС на зміни навантаження – важливий фактор для забезпечення комфортного та ефективного руху поїзда в реальних експлуатаційних умовах.

Завдяки цим характеристикам паралельне підключення НЕ до тягової системи ТРС є оптимальним вибором для підвищення ефективності, надійності та адаптивності сучасного залізничного тягового транспорту, особливо при реалізації його етапної модернізації.

Таким чином, паралельне з'єднання НЕ з тяговими системами залізничного транспорту забезпечує його гнучкість, енергоефективність та підвищену надійність у експлуатації. Застосування НЕ у ТРС є особливо доцільним у сучасних умовах, коли зростають вимоги до сталого розвитку залізничного транспорту України, зменшення його шкідливих викидів та забезпечення енергозбереження.

#### **Вплив накопичувачів енергії на експлуатаційну роботу тягового рухомого складу**

Умови експлуатації ТРС з НЕ залізничного транспорту передбачають його роботу у трьох основних режимах – тяга, вибіг, гальмування, взаємодію яких зображено на рисунку 4. Частота та тривалість реалізації кожного з режимів залежить від багатьох факторів. Визначальними з яких є довжина перегону, заданий час руху поїзду по перегону та профіль шляху [7]. Розглянемо роботу тягової системи з НЕ у кожному із згаданих режимів експлуатації ТРС.

**Розгін:** під час розгону енергія надходить від контактної мережі або дизель-генератора безпосередньо до тягових електродвигунів ТРС для забезпечення руху поїзда. При цьому, якщо потужності з мережі чи дизель-генератора недостатньо або необхідна додаткова енергія для прискорення поїзда, паралельно підключається НЕ, який додатково живить тяговий привід ТРС. Це допомагає зменшити навантаження на мережу чи дизель-генераторну установку ТРС, особливо в пікові моменти руху поїзда.

**Вибіг:** у фазі вибігу тяговий привід ТРС не потребує енергії, оскільки поїзд рухається за інерцією. Ні контактна мережа, ні НЕ не задіяні. Вся система перебуває в пасивному стані і НЕ готовий до наступної фази роботи – гальмування або нового розгону поїзда.

**Гальмування:** під час гальмування тягові двигуни ТРС переходять у режим генерації, перетворюючи кінетичну енергію руху поїзда в електричну. Ця енергія у ТРС з НЕ не повертається назад у мережу (як це буває в класичній системі) або перетворюється у теплову енергію яка розсіюється у довкіллі (на автономному ТРС з дизель-генератором), а спрямовується в НЕ. Таким чином, НЕ акумулює електричну рекуперативну енергію, яка згодом буде використана для тяги в наступних циклах руху поїзда.

У режимі розгону поїзда НЕ ТРС переходить у фазу активного розряду, компенсуючи пікові навантаження на контактну мережу чи дизель-генератор автономної рухомої одиниці, знижуючи рівень просадки напруги у тяговій системі при високому споживанні енергії тяговими електродвигунами. Під час вибігу ТРС участь НЕ в енергопостачанні тягової системи, як правило, відсутня – напруга на його виході залишається стабільною, а стан заряду не змінюється.

У фазі рекуперативного гальмування надлишкова енергія, генерована тяговими електродвигунами, спрямовується на заряд НЕ. Таким чином, при паралельному включенні до тягової мережі НЕ функціонує в динамічному режимі з циклічним перемиканням між процесами заряджання та розряджання, відповідно до поточного профілю руху транспортного засобу.

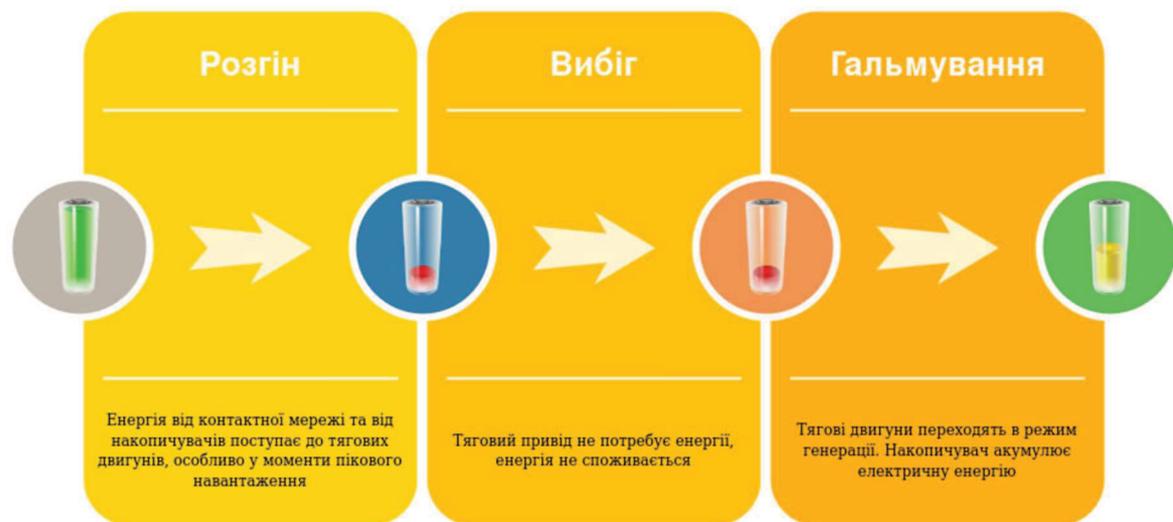


Рис. 4 – Режими роботи накопичувача енергії тягового рухомого складу

### Часткове використання тягових двигунів

У залізничному транспорті часто застосовується принцип часткового використання тягових електродвигунів ЕРС з метою підвищення загальної енергоефективності електричної тяги [8]. У типових умовах електровози або моторвагонні секції електропоїздів мають від 6 до 8 тягових електродвигунів, які не завжди працюють одночасно. Вимкнення частини двигунів – наприклад, залишення у роботі лише 2–4 з 6–8 – дозволяє оптимізувати витрати енергії при часткових навантаженнях, особливо під час вибігу або руху поїзда на рівнинних ділянках залізниці.

Це рішення пов'язане з характеристиками коефіцієнтів корисної дії (ККД) електричних машин, які мають найвищу ефективність при роботі в певному діапазоні навантаження. Якщо всі двигуни працюють при невеликому навантаженні, кожен із них може працювати з низьким ККД. У такому випадку вигідніше вимкнути частину двигунів, щоб решта працювали ближче до оптимального режиму навантаження, забезпечуючи вищу продуктивність при меншому енергоспоживанні. Такий підхід також сприяє зниженню загальних втрат у тяговій системі, зменшенню нагріву обмоток електродвигунів, які перебувають у вимкненому стані, та зниженню навантаження на їхні системи охолодження, що сприяє не лише економії електроенергії, але й збільшує ресурс роботи обладнання та знижує частоту обслуговування тягових електродвигунів.

Особливо ефективним є комбіноване використання частини тягових електродвигунів разом з НЕ, який може підтримувати розгін або стабільний рух ТРС з поїздом, компенсуючи частину тягового зусилля. Така інтеграція забезпечує більш плавну роботу ТРС, підвищує ККД тягової передачі та зменшує пускові навантаження на контактну мережу чи дизель-генератор. У підсумку, кероване вимкнення частини тягових електродвигунів – це розумна стратегія для адаптивного енергоспоживання, яка дозволяє зберігати енергію, зменшувати зношення обладнання та підтримувати стабільність тягової системи ТРС в різних умовах експлуатації.

### Оптимізація системи керування залізничним рухомим складом

Ключовим етапом у підвищенні ефективності залізничного транспорту, особливо в умовах зростаючих вимог до його енергозбереження, екологічності та адаптивності до змін у зовнішньому середовищі є оптимізація системи керування тяговою передачею ТРС. Сучасні технології дають змогу впроваджувати інтелектуальні системи керування, які аналізують зовнішні дані у реальному часі та автоматично регулюють тягове зусилля ТРС, використання енергії з її НЕ та вибір джерела постачання енергії тягових електродвигунів, залежно від умов маршруту руху поїзда [9, 10].

Зважаючи на вище сказане, оптимізацію побудови і керування електричними тяговими передачами ТРС необхідно виконувати з урахуванням стратегій керування потоками джерел їх живлення – таких як автоматичне перемикання між контактною мережею, НЕ та іншими джерелами енергії відповідно до навантаження поїзда, маршруту руху та наявності відповідної інфраструктури, а також з можливістю регулювання завантаженості тягових електродвигунів,

шляхом періодичного їх вимикнення. Це дозволяє досягти максимальної ефективності використання енергії на тягу поїздів та зменшити її втрати.

Одним із важливих напрямів управління тяговою передачею ТРС є динамічне керування розгоном і гальмуванням рухомої одиниці, що дозволяє мінімізувати втрати енергії при її експлуатації. Використання алгоритмів прогнозування траєкторії руху поїзда, ухилів колії, швидкісних обмежень і режимів руху інших поїздів дає змогу обирати оптимальні моменти для включення яги, використання вибігу або рекуперативного гальмування. Це не лише знижує енерговитрати на переміщення поїзду, а й зменшує зношення обладнання ТРС та покращує комфорт пасажирів у вагонах поїзду.

Ще одним напрямом оптимізації управління тягою поїзда є інтелектуальне керування використанням тягових електродвигунів – автоматичне підключення до тяги лише необхідної кількості двигунів для забезпечення необхідного режиму руху поїзда. У поєднанні з НЕ, встановленими у ТРС, це дозволяє утримувати двигуни в найбільш ефективній зоні їх роботи, зменшуючи навантаження на енергосистему та підвищуючи загальний ККД тягової установки рухомої одиниці. Також системи керування тяговою передачею ТРС можуть включати зв'язок із залізничною інфраструктурою, наприклад, інформацію про стан мережі електропостачання або доступність зарядних станцій для plug-in гібридів. Це створює умови для створення гнучкого, адаптивного рухомого складу, здатного працювати ефективно навіть у випадках перебоїв у його живленні або при зміні маршруту руху. Загалом, оптимізація системи керування ТРС – це шлях до створення «розумного», стійкого до відмов та енергоефективного залізничного транспорту нового покоління.

### **Висновки**

Після повномасштабного вторгнення енергетична інфраструктура України зазнала значних ушкоджень, що суттєво вплинуло на стабільність та надійність енергопостачання, зокрема й у залізничному транспорті. Часті перебої з постачанням електроенергії, зниження напруги в контактній мережі та аварійні відключення змусили переглянути підходи до енергозабезпечення рухомого складу залізниць. У цих умовах особливо гостро постала потреба в енергетичній автономності ТРС та його здатності адаптуватися до нестабільних джерел живлення.

У цьому контексті перепрофілювання на plug-in гібридні системи стало не лише технологічною інновацією, а й необхідним кроком до забезпечення енергетичної безпеки залізниці. Поєднання накопичувачів енергії з можливістю їх підзарядки від зовнішніх джерел, у тому числі локальних або мобільних (наприклад, генераторів чи підстанцій на альтернативній енергії), дає змогу зберігати функціональність транспорту навіть у разі повного виходу з ладу централізованої електромережі.

Також у воєнний та післявоєнний період варто активно розвивати інтелектуальні системи керування тяговим навантаженням ТРС, які дозволяють адаптувати цей рухомий склад до обмеженої доступності електроенергії для його живлення. Часткове використання при роботі ТРС його тягових електродвигунів, оптимізоване керування розгоном і гальмуванням тягової одиниці, а також максимальне використання рекуперації – усе це дає змогу суттєво знизити навантаження на мережу електропостачання та зберегти стабільність роботи залізничного транспорту, навіть в умовах кризи.

Отже, у світлі військових подій та пошкодження критичної інфраструктури, перехід до plug-in гібридних систем і гнучких методів енергокерування – це не лише крок до модернізації, а й елемент збільшення стійкості системи залізничного транспорту. Такий підхід дозволяє зберегти функціонування залізниці як критично важливої артерії логістики та евакуації громадян в умовах обмежених ресурсів і загроз. Тому для досягнення сталого розвитку галузі важливо вже сьогодні створити комплексну програму модернізації наявного тягового рухомого складу, залучаючи для цього науковий потенціал країни, наявні інженерні рішення та досвід практичної експлуатації рухомого складу. Це відкриє шлях до нового рівня ефективності, гнучкості та конкурентоспроможності залізничної галузі України.

### **Повідомлення**

Стаття підготовлена при виконанні науково-дослідної роботи «Енергетичний менеджмент у PLUG-IN гібридних тягових системах рейкового рухомого складу, обладнаного багатодвигунним тяговим електроприводом» (№ д/р 0125U001619), що фінансується МОН України.

### *Література*

1. Liu X. Energy storage devices in electrified railway systems: a review / X. Liu, K. Li // *Transportation Safety and Environment*. – 2020. – Vol. 2, No. 3. – P. 183–201. – DOI: <https://doi.org/10.1093/tse/tdaa016>.
2. Rufer A. Energy storage for railway systems, energy recovery and vehicle autonomy in Europe / A. Rufer // *Proceedings of the 2010 International Power Electronics Conference-ECCE ASIA, Sapporo, Japan, 21–24 June 2010*. – Sapporo (Japan), 2010. – P. 3124–3127. DOI: 10.1109/IPEC.2010.5542334.
3. Determination of the working energy capacity of the on-board energy storage system of an electric locomotive for quarry railway transport during working with a limitation of consumed power / L. Kondratieva, A. Bogdanovs, L. Overianova, L. Riabov, S. Goolak // *Archives of Transport*. – 2023. – Vol. 65, No. 1. – P. 119-154. – DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.2631>.
4. Підвищення енергоефективності маневрового тепловоза шляхом застосування накопичувачів енергії / С. Г. Буряковський, А. С. Маслій, Д. П. Помазан, О. Е. Сафронов, О. Г. Туренко // *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – 2019. – № 27 (1352). – С. 3–8. – Режим доступу: [http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2019\\_27.pdf](http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2019_27.pdf).
5. Boosting input voltage of traction inverter using energy storage equipment and its energy-saving performance / Y. Taguchi, M. Ogasa, H. Hata, H. Iijima, S. Ohtsuyama, T. Funaki // *QR of RTRI*. – 2008. – Vol. 49, No. 4. – P. 203–208.
6. Riabov I. An Estimation of the Energy Savings of a Mainline Diesel Locomotive Equipped with an Energy Storage Device / I.Riabov, S.Goolak, L.Neduzha // *Vehicles*. – 2024. – Vol. 6, iss. 2. – P. 611-631. – DOI: <https://doi.org/10.3390/vehicles6020028>.
7. Сидоренко А. Оцінка впливу режимів роботи системи електричної тяги на втрати від нерівномірності споживання електроенергії та заходи щодо їх зниження / А. Сидоренко, С. Яцько // *Збірник наукових праць ДУІТ*. Серія «Транспортні системи і технології». – 2022. – Вип. 39. – С. 115–127. – DOI: 10.32703/2617-9040-2022-39-11.
8. Гетьман Г. К. Еще раз об определении экономии электроэнергии на тягу за счет частичного отключения тяговых двигателей электроподвижного состава / Г. К. Гетьман, В. С. Васильев // *Наука та прогрес транспорту*. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2013. – Вип. 5. – С. 47–57. – DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2013/17966>.
9. Боднар Б. Є. Інтелектуальні технології Industry 4.0: трансформація управління локомотивним господарством / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов // *Прогресивні технології засобів транспорту : тези доп. 2-ї міжнар. наук.-техн. конф., Харків, 05–06 груд. 2024 р.* – Харків : УкрДУЗТ, 2024. – С. 9-10.
10. Сулим А. О. Способи керування енергетичними процесами на рухомому складі метрополітену з конденсаторними накопичувачами / А. О. Сулим // *Рухомий склад нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя : тези III Міжнар. науково-практ. конф., Харків, 2023 р.* / Український державний університет залізничного транспорту. – Харків : УкрДУЗТ, 2023. – С. 21–22.

### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Маслій Артем Сергійович**,  
к.т.н., доцент, доцент кафедри  
«Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка» Українського  
державного університету залізничного  
транспорту (УкрДУЗТ).  
Майдан Фейсрбаха, 7, м. Харків,  
61050, Україна.  
E-mail: [maslij@kart.edu.ua](mailto:maslij@kart.edu.ua).  
ORCID ID: 0000-0002-0554-8150.

**Буряковський Сергій Геннадійович**,  
д.т.н., професор, директор Науково-  
дослідного та проектно-конструкторського  
інституту «Молнія» Національного  
технічного університету «Харківський  
політехнічний інститут».  
Вул. Шевченко, 47, м. Харків,  
61013, Україна.  
E-mail: [ergbyr@i.ua](mailto:ergbyr@i.ua).  
ORCID ID: 0000-0003-2469-7431.

**Геврасов Валентин Анатолійович,**  
аспірант кафедри «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
УкрДУЗТ.  
Майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків,  
61050, Україна.  
E-mail: [gevrasov\\_phd@kart.edu.ua](mailto:gevrasov_phd@kart.edu.ua).  
ORCID ID: 0009-0000-8910-5172.

**Антоненко Роман Миколайович,**  
аспірант кафедри «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
УкрДУЗТ.  
Майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків,  
61050, Україна.  
E-mail: [antonenko\\_phd@kart.edu.ua](mailto:antonenko_phd@kart.edu.ua).  
ORCID ID: 0009-0001-9241-5857.

**Маслій Андрій Сергійович,**  
к.т.н., доцент кафедри «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
УкрДУЗТ.  
Майдан Фейєрбаха, 7, м. Харків,  
61050, Україна.  
E-mail: [an\\_com@ukr.net](mailto:an_com@ukr.net).  
ORCID ID: 0000-0001-7188-3638.

## **«ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ УКРАЇНИ» ПЕРЕДПЛАТА НА ВИДАННЯ**

У зв'язку з введенням в Україні військового стану та дефіцитом витратних матеріалів і електрики для друку видавець тимчасово припиняє видання паперових випусків журналу «Залізничний транспорт України», залишаючи тільки його електронне видання. Періодичність видання журналу – 4 рази на рік.

Підприємства та фізичні особи можуть **оформити передплату на галузевий науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України» у електронному вигляді (Off-line), по кварталах та на весь рік, на договірних умовах у видавця журналу - філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця», за зверненням до директора філії на адресу:**

**03038, м. Київ, вул. Івана Федорова, 39.**

**Електронна пошта: [ztu@uz.gov.ua](mailto:ztu@uz.gov.ua); [gryshenko.s@lotus.uz.gov.ua](mailto:gryshenko.s@lotus.uz.gov.ua).**

**Тел.: +38 (044) 309-68-93. Факс: +38 (044) 528-93-01.**