

УДК 656.2:662.756

## ДЕКАРБОНІЗАЦІЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ДИЗЕЛЬНОЇ ТЯГИ: ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛЬНИХ

Асп. О. В. Роговий

## DECARBONIZATION OF RAILWAY DIESEL TRACTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF RENEWABLE DIESEL FUELS

PhD student O. Rohovyi

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.216.2026.362484>



**Анотація.** Стаття присвячена порівняльному аналізу відновлюваних дизельних паливних, що використовують на полігоні залізниць ЄС. Метою роботи є визначення технічно придатних класів відновлюваних дизельних паливних для застосування в наявних тягових дизельних двигунах і систематизація обмежень, що визначають можливість їх впровадження. Було розглянуто чотири альтернативи: парафінове дизельне пальне прямої заміни з гідрообробки рослинних олій і жирів, біодизель на основі метилових естерів жирних кислот, суміш біодизелю з дизельним паливним із часткою біокомпонента 20 % і синтетичне парафінове дизельне пальне. Для кожної альтернативи наведено технічні рамки застосування, відповідність стандартам, типові ризики сумісності паливної системи, зберігання та сезонної придатності, а також вимоги щодо перехідних операцій і контролю якості пального. Сформовано узагальнену таблицю вимог і обмежень для кожного виду пального. Таблицю можуть використовувати залізничні перевізники як практичний інструмент для попереднього вибору пального і планування переходу на неелектрифікованих ділянках залізничної мережі Європейський Союз–Литва–Україна.

**Ключові слова:** декарбонізація, залізничний транспорт, дизельна тяга, відновлюване пальне, порівняльний критерій.

**Abstract.** The article is devoted to a comparative analysis of renewable diesel fuels. The aim of the study is to identify technically suitable classes of renewable diesel fuels for use in existing traction diesel engines and to systematize the constraints that determine the feasibility of their implementation. Four alternatives were considered: drop-in paraffinic diesel fuel produced by hydrotreating vegetable oils and fats, biodiesel based on fatty acid methyl esters, a biodiesel–diesel blend with a 20 % biocomponent share, and synthetic paraffinic diesel fuel. For each alternative, the technical application framework is presented, including compliance with standards, typical fuel-system compatibility risks, storage and seasonal suitability issues, as well as requirements for transition operations and fuel quality control. A summary table of requirements and constraints for each fuel type was compiled. The table can be used by railway operators as a practical tool for preliminary fuel selection and for planning the transition on non-electrified sections within the European Union–Lithuania–Ukraine corridor. The study shows that, for fuel selection in rail applications, the decisive factors are practical operating conditions: whether the risk of fuel-system failures increases, whether fuel storage becomes more difficult, and whether additional maintenance requirements arise. For fuels containing a biodiesel component, the main issues relate to storage and

ISSN (p) 1994-7852

ISSN (online) 2413-3795

© Роговий О. В., 2026.

*fuel cleanliness: water ingress can lead to biological contamination and sediment formation, which may clog filters and disrupt the operation of the fuel injection system. For paraffinic fuels, the main focus is on batch quality and on switching to a different fuel type: key fuel properties must be verified and the compatibility of seals, hoses, and gaskets in the fuel system of the existing fleet must be checked. As a practical outcome, it is determined that, during preparation for implementation, the following should be monitored at a minimum: the presence of water and contaminants, cold-weather operability and deposit formation, stability during storage, as well as parameters that affect the operation of the fuel system and filters. This summary makes it possible to discard options with a high risk of downtime and to establish a basis for further comparison of alternatives by environmental and economic indicators in phased decarbonization programs for diesel traction.*

**Keywords:** decarbonization, rail transport, diesel traction, renewable fuels, comparative criterion.

**Вступ.** Декарбонізація залізничного транспорту на сьогодні є одним із найвищих пріоритетів європейської політики [1]. Ухвалення Зеленого курсу та пакету Fit for 55 [2] потребує на території Європейської Спільноти зниження викидів парникових газів на 55 % до 2030 року та досягнення кліматичної нейтральності в середині XXI століття [3]. Слід зазначити, що залізничний транспорт уже має найнижчі питомі викиди серед видів транспорту. Але виконання таких зобов'язань потребує глибокої зміни існуючих практик, а саме масштабної електрифікації, розгортання водневих і акумуляторних поїздів, цифровізації процесів управління рухом, формування гнучких фінансових і регуляторних стимулів тощо.

Існує чимало рішень щодо декарбонізації на транспорті. Це формує складний багатокритеріальний ландшафт, де кожен варіант оцінюють за екологічними, економічними, технологічними та соціальними показниками. Переваги в одній сфері часто нівельовані недоліками в інших [4]. На 2026 рік актуальні дослідження, що пов'язані з декарбонізацією залізничного транспорту, належать до прикладної транспортної інженерії. Для неелектрифікованих ділянок одним із практичних способів швидкого скорочення викидів є заміна викопного дизельного пального на відновлювані дизельні пальні, що сумісні з наявними тяговими

дизельними двигунами без переобладнання рухомого складу.

У короткостроковому та середньостроковому горизонті декарбонізація не може спиратися виключно на повну заміну традиційної тяги та потребує рішень без масштабних перебудов чи порушення стійкості перевізного процесу.

У європейському залізничному секторі декарбонізацію асоціюють більше з електрифікацією та підвищенням частки електротяги. Хоча дизельна тяга і досі залишається критичною на ділянках колії, де відсутня контактна мережа, або ж її розвиток обмежений економічними чи технологічними чинниками. Це означає, що акцент заходів зі зменшення вуглецевого сліду зміщено на заміну викопного дизельного пального відновлюваними дизельними пальними, які можна впроваджувати поетапно, поступово збільшуючи їхню частку. Підсумовуючи, з'являється потреба в чіткій процедурі систематизації відновлюваних дизельних пальних. При цьому потрібно враховувати техніко-екологічні та експлуатаційні показники, релевантні саме залізниці.

Саме тому тема статті є актуальною. Порівняння альтернативних палив дає змогу обґрунтовано вибрати пальне для конкретних видів робіт з урахуванням стандартів, сумісності з наявним парком, вимог інфраструктури та експлуатаційних ризиків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження про відновлювані рідкі пальні для дизельної тяги можна класифікувати за трьома видами джерел: 1) огляди або аналітика; 2) публікації з випробуваннями; 3) практичний досвід залізничних перевізників. Слід зазначити, що останні демонструють практичні результати але часто спрямовані більше на маркетинг.

Джерело [5] корисне як практичний досвід залізничного перевізника щодо переходу на відновлюване дизельне пальне. Автори розглядають парафінове дизельне пальне прямої заміни (далі НВО), отримане шляхом гідрообробки рослинних олій і жирів, як перехідне рішення до повного виходу з дизеля. Відповідно, ставку зроблено на пальне прямої заміни без переобладнання парку рухомого складу. Європейський залізничний перевізник DB Cargo показує, що НВО можна швидко масштабувати як пальне прямої заміни без переобладнання локомотивів, а вузькими місцями зазначають мережу заправок і депо.

Фінська енергетична компанія, один із найбільших у світі виробників відновлюваного дизельного пального Neste [6], заявляє поставку відновлюваного дизеля для Deutsche Bahn і чітко формулює позицію щодо пального прямої заміни, що придатне для використання без будь-яких модифікацій двигуна і на наявній інфраструктурі. Вказують, що, якщо поррахувати весь життєвий цикл пального, сумарний кліматичний вплив і зменшення викидів парникових газів, може бути до ~90 % меншим порівняно з викопним дизелем. Проте не надають прозорого розрахунку.

Матеріал [7] задає цінну конкретику. Литовська залізниця (LTG) запускає пілотний проєкт на 18 місяців, щоб у реальних умовах вантажних і пасажирських перевезень оцінити придатність і безпечність постійного використання НВО у різних типах рухомого складу. Недоліком є те, що це поки опис задуму або цілей, а не

публікація результатів із методикою відбору проб пального, контролем партій тощо.

У звіті [8] систематизовано альтернативи для заміщення викопного дизеля на залізниці, він є оглядовою картою варіантів, як залізниці можуть відмовлятися від викопного дизеля і що заважає робити це масово. Перевагою звіту є огляд у ньому бар'єрів і впровадження, проте недостатньо висвітлено в ньому точні дані саме для залізниці.

Автори джерела [9] узагальнили позицію виробників і залізничної галузі. Важливим є зазначення, що для дизельного рухомого складу високі частки звичайного біодизеля з рослинних олій і жирів у сумішах небажані без додаткових перевірок, оскільки несуть типові експлуатаційні ризики на кшталт вищих витрат пального, проблеми сумісності матеріалів у паливній системі, гіршої роботи взимку, гірша стабільність зі зберіганням тощо. Хоча джерело відносно не нове, проте підкреслює потребу довгих тестів на довговічність і цілісність паливної системи перед масштабуванням, що досі є актуальним.

Матеріали [10] у форматі технічних сторінок можна використовувати як джерело заявлених експлуатаційних характеристик від виробника. Водночас, з огляду на корпоративний характер джерела, ці твердження потрібно трактувати як вихідні припущення або паспортні характеристики. Оскільки практична реалізація наведена для низьких температур, існують ризики засмічення фільтрів, а викиди можуть бути іншими у фактичних умовах.

Для теми залізничної тяги цінність [11] полягає в узагальненні моторних даних та окресленні параметрів, що доцільно контролювати з експлуатацією. Обмеження джерела в тому, що значна частина наведених даних походить з автомобільних або стендових випробувань. Безпосереднє перенесення висновків на залізничну сферу без урахування перехідних режимів і тривалих циклів роботи не раціональне.

Однак правильним буде зафіксувати, які параметри потрібно перевіряти саме на залізничному профілі експлуатації.

В експериментальній статті [12] наведено результати випробувань про вплив HVO і сумішей на характеристики викидів дизельного двигуна за визначеним протоколом.

У статті [13] змодельовано потенціал декарбонізації мережі вантажних залізничних перевезень через технологічні заходи включно з паливними сценаріями, сформульовано більш точно розуміння того, як пов'язувати вибір пального і тяги. Але це змодельовані розрахунки, які залежать від припущень, тому вони не відповідають безпосередньо, які саме види відновлюваного дизельного пального технічно прийнятні для існуючих локомотивів.

У джерелі [14] підсумовано, як на довготривалі зберігання біодизеля впливають окиснення, вода, домішки, температура, світло тощо. Також узагальнено застосування профілактичних заходів: контроль якості, режими зберігання тощо. Це підсилює висновок, що для паливної суміші з 20 % біодизеля (далі B20) і 100 % біодизеля (далі B100) зона ризику часто лежить не в згорянні, а в паливному господарстві. Праця [15] показує, що під час зберігання пального з біодизельним компонентом може з'являтися біологічне забруднення. Найчастіше це відбувається якщо в резервуар потрапляє вода, що призводить до утворення осаду, забруднення фільтрів і зростання ризику збоїв у роботі двигунів. Для залізниці важливо це враховувати, оскільки навіть локальне забруднення пального швидко переходить у позапланові зупинки локомотивів і порушення перевізного процесу. Для усунення таких наслідків потрібно промити систему, замінити фільтри і очистити резервуари.

У джерелі [16] розглянуто властивості парафінових дизельних паливних і пов'язані з ними практичні аспекти, особливо ті, що стосуються вимог щодо специфікації та

контролю властивостей на рівні партій. Автори пояснюють, чому для HVO і синтетичного парафінового дизельного пального (далі XTL) важливими є партії, сертифікати, контроль властивостей.

Джерело [17] корисне тим, що автори пояснюють, що для біодизеля та його сумішей основна проблема – зберігання пального. Показано, що на практиці часто використовують антиоксиданти, щоб була якість кращою та знижена деградація під час зберігання. Для нашого дослідження це підтверджує, що B20 – компромісний варіант, проте потрібно застосовувати за окремою специфікацією суміші та з контролем якості.

У сучасних працях із декарбонізації тяги також зазначено, що вибір пального на транспорті потрібно розуміти як компроміс між технічною сумісністю, операційними ризиками та кліматичним ефектом. Такий підхід підтверджує думку про те, що пальне спершу проходить фільтр придатності: стандарти, зберігання, сумісність, а вже потім його оцінюють за екологічними показниками [18].

**Визначення мети та завдання дослідження.** Мета статті — визначити технічно придатні класи відновлюваних дизельних паливних для застосування в наявних тягових дизельних двигунах і систематизувати обмеження їх впровадження.

Завдання статті: 1) проаналізувати розповсюджені в ЄС відновлювані дизельні пальні та визначити їхні основні обмеження; 2) встановити стандарти і технічні умови застосування вибраних альтернатив у дизельній тязі.

#### **Основна частина дослідження**

**Аналіз розповсюджених у ЄС відновлюваних палив і їхні основні обмеження.** Визначено набір альтернатив для порівняння відновлюваних дизельних паливних. Були відібрані саме ті типи, що або вже застосовують на залізниці, або хоча б доведені до рівня пілотних проєктів із зрозумілою рамкою стандартизації.

Визначимо чотири альтернативи відновлювального дизельного пального, які аналізують у статті: а) HVO100; б) B100; в) B20; г) XTL. Деякі з цих альтернатив вже заходять у масове впровадження в ЄС, такі як парафіновий сумісний за експлуатацією з дизелем, виготовлений за стандартом EN 15940; класичний біодизель на основі метилових естерів жирних кислот, виготовлений за стандартом EN 14214, його випробовували, але саме в залізничній сфері є чимало недоліків зі зберігання, сезонності та сумісності. Між першим і другим логічно вибрати сумішевий варіант типу B20, оскільки його найчастіше використовують як компроміс у реальних тестах. На сам кінець варто додати альтернативу –XTL - як орієнтир на майбутнє, щоб методика тримала синтетичні парафінові пальні, навіть якщо вони поки що не масштабовані в залізничній сфері.

HVO100 – відновлюване парафінове дизельне пальне прямої заміни – отримане шляхом гідрообробки рослинних олій і жирів («100» означає, що пальне використовують без домішування викопного дизеля), сьогодні має підтверджене практичне застосування в деяких європейських залізничних перевізників на досить високому рівні, а не тільки одиничні лабораторні дослідження. DB Cargo заявляють, що весь їхній парк дизельних локомотивів у Німеччині допущено до використання HVO. HVO100 застосовують як інструмент поступової заміни дизельного пального на неелектрифікованих ділянках і в маневровій роботі. Сьогодні DB Cargo проводить випробування та розгортання використання HVO100 у європейських підрозділах. Литовські залізниці почали 18-місячний пілот одразу на трьох типах рухомого складу в умовах реальної експлуатації [7].

B100 – 100 % біодизель – присутній значно менше, але не через відсутність екологічної мотивації, а через експлуатаційні ризики для локомотива. Це у свою чергу провокує простій локомотивів і

позапланове технічне обслуговування. У статті [9] розглянуто проблемні зони для біодизеля в залізничному застосуванні, а саме стабільність зі зберіганням, низькотемпературна працездатність, сумісність матеріалів паливної системи тощо. Саме тому в реальній практиці частіше зустрічаються низькі домішки або контрольовані суміші, а не чистий B100. Американські технічні звіти з біопалива в локомотивах також відображають цю логіку. Фокус зосереджений на малих і середніх частках біодизеля з оцінюванням довговічності та ризиків для компонентів. Тобто B100 як альтернатива в нашому дослідженні потрібна саме як еталон ризику. Він корисний для порівняння за методикою, але його реальна поширеність у залізничній експлуатації обмежена та нерівномірна по країнах і типах парку.

За сумішевими варіантами на кшталт B20 (суміш дизельного пального з біодизелем, у якій частка біодизеля становить 20 % за об'ємом, решта 80 % – звичайний дизель) маємо найбільше прикладів реального застосування чи тестів саме в залізничному сегменті. Є публічні згадки про випробування B20 у Великій Британії, а також сучасні плани і тести в США, це, зокрема, тестування сумішею біодизеля B20 у локомотивах у рамках програм підвищення частки відновлюваного компонента. B20 дає керований рівень ризику порівняно з B100, особливо зі зберігання, і тому частіше проходить через виробничі регламенти. Важливо фіксувати, що сумішевий варіант - це не одна марка та не можна сказати, що якість буде однаковою. Важливим є контроль партій і реальна відповідність кінцевої суміші вимогам щодо дизельного пального. У Європі це зроблено через застосування стандартів типу EN 16709, EN 14214, а на викопний дизельний компонент – EN 590.

XTL – синтетичні парафінові дизелі – роблять не безпосередньо з нафти, а через синтез рідкого пального з іншої вуглецевої сировини. Доречно включити їх до переліку

аналізу як альтернативу, щоб калібрувати критерії, уникнути структурної упередженості та правильно розуміти ступінь готовності для застосування. Це пояснено тим, що, по-перше, стандарт EN 15940 охоплює парафінові дизелі як із гідрообробки HVO, так і синтетичні. Щодо паливної класифікації, то методика порівняння має вміти працювати з ХТЛ так само, як з HVO. По-друге, профільні європейські джерела визнають, що демонстрації живлення дизельних двигунів синтетичними паливними можливі з малими змінами [19]. Але масштабування для залізниці поки що обмежене економічними чинниками та загальною доступністю. Тому додавання ХТЛ до списку альтернатив буде виконувати роль контрольної перспективи, щоб матриця критеріїв не була підлаштована тільки під поточні біопалива і не розвалювалася з появою нового класу постачань.

Отже, усі чотири варіанти мають реальну практику, але на різних рівнях готовності. HVO100 уже впроваджено в пілотних проєктах на європейських залізницях (DB, LTG). B20 має історію і сучасні тести як компромісний рівень домішки. B100 існує як межовий сценарій із найбільшими експлуатаційними ризиками. ХТЛ використовують як парафіновий клас майбутнього, який методично потрібно враховувати, але розуміти, що він обмежено застосовний сьогодні в залізничному сегменті.

Проаналізуємо технологічні особливості використання чотирьох рідких відновлюваних дизельних паливних.

HVO100, за класифікацією стандартів, – це парафіновий дизель. Важлива деталь – в EN 15940 безпосередньо враховано можливість невеликої кількості домішок біодизельного компонента в ланцюгу постачання [20]. Для залізниці недоліками є контроль партій, чистота резервуарів і фільтрів, контроль гумових елементів паливної системи після переходу на інше пальне.

B100 можна використовувати як пальне в 100 % концентрації або як компонент у дистильованих паливних для дизельних двигунів [21]. Це найбільш ризикований клас саме через операбельність у холоді, гіршу паливну економічність по літрах, проблеми зберігання і термостабільність, забруднення і мікробний розклад у присутності води. Це сформульовано у профільному звіті [9] як типові проблемні зони для високих біодизельних часток для застосування на залізницях.

B20 являє собою сумішевий варіант, що знижує частину ризиків, характерних для використання чистого біодизеля. Для автомобільного дизельного пального в європейській практиці фіксують можливість вмісту біокомпонента лише в обмеженій кількості (до 7 % об'єму) [22]. Це означає, що для B20 потрібне окреме технічне узгодження на рівні постачання та гарантій. Дослідження і рекомендації американських залізничних органів регулювання вказують, що для сумішей із підвищеною часткою біокомпонента основним чинником ризику є зберігання пального. За вищих частках можливі осадки у холоді та знову ж таки ризик мікробного росту у стаціонарних резервуарах зберігання пального на інфраструктурі, що потребує впровадження процедур належної експлуатації паливного господарства та регулярного контролю якості.

ХТЛ – синтетичний парафіновий дизель, отриманий через синтез з електроенергії та CO<sub>2</sub> з біомаси або за процесом Фішера–Тропша. За паливною специфікацією, він близький до HVO, але відрізняється джерелом вуглеводнів і ланцюгом сертифікації. Основні ризики також подібні до HVO, а саме контроль якості партій, чистота паливного господарства. Із недоліків – доступність, ціна, доказовість вартості життєвого циклу, сертифікації.

Підсумовуючи альтернативи і технічні рамки, наведемо в таблиці технологічні особливості використання відновлюваних дизельних паливних, що подані вище.

Таблиця

Альтернативи відновлюваних видів дизельного пального і їхні технічні характеристики

Альтернатива	Стандарт і клас	Технічні рамки застосування в дизельній тязі	Типові ризики сумісності	Особливості зберігання
HVO100	EN 15940	Пряма заміна для дизеля; 100 % або суміші; постачання за стандартами	Мастильність, сертифікат партії; ущільнення, еластоміри на старому парку	Перехід: промивання, очищення резервуарів; засмічення фільтрів
B100	EN 14214	Обмежена придатність як пального прямої заміни; висока залежність від якості й режимів; потрібен контроль придатності	Матеріальна сумісність; відкладення; засмічення фільтрів із переходом	Окиснювальна стабільність; вода, біозабруднення; холодна фільтрованість; відкладення у форсунках
B20	EN 590 (дизельна база) + EN 14214 (біокомпонент)	Компромід; потрібна окрема специфікація суміші та погодження регламентів	Залежність від якості біодизельного компонента; чутливість фільтрації, ущільнень нижча, ніж у B100	Осади за низьких температур; вода, біозабруднення; потрібен контроль зберігання і контрольні проби
XTL	EN 15940	Парафінове пальне прямої заміни; головні обмеження — доступність, ціна, сертифікація	Мастильність, партія; старі матеріали паливної системи	Перехідні операції; ризик більше логістичний, ніж пов'язаний із якістю і сумісністю пального

У таблиці підсумовано та узагальнено технологічні рамки застосування кожного виду відновлюваних палив, відповідні стандарти і типові експлуатаційні ризики. Тепер можемо на початковому етапі оцінити відповідність конкретної альтернативи умовам наявного парку локомотивів і паливної інфраструктури, а також прибрати варіанти, що потребують неприйнятних змін або мають підвищені ризики в експлуатації.

#### Висновки

1. Проаналізовано та класифіковано чотири альтернативи відновлювального

дизельного пального, що потенційно можна застосовувати в наявних тягових дизельних двигунах залізниці: парафінові пальні HVO100, синтетичні XTL і B100, сумішевий варіант B20. Для кожної альтернативи визначено нормативно-технічні рамки застосування та основні експлуатаційні обмеження.

2. Сформовано узагальнену таблицю технічних вимог і обмежень, яку можна використовувати як практичну основу для попереднього відбору відновлюваних дизельних паливних і підготовки рішень

про їх впровадження на неелектрифікованих ділянках залізниці. Подальший вибір і порівняння альтернатив потребує окремого багатокритеріального оцінювання з урахуванням екологічних та експлуатаційних показників.

Фінансовано Європейським Союзом. Висловлені погляди та думки належать

виключно автору(ам) і не обов'язково відображають позицію Європейського Союзу або Спільного підприємства Europe's Rail. Ані Європейський Союз, ані орган, що надав фінансування, не можуть нести відповідальність за них. Проєкт PhDs EU-Rail підтримано Спільним підприємством Europe's Rail і його членами.



### Список використаних джерел

1. Samsonkin, V., Yurchenko, O., Sorochynska, O., Rohovyi, O., & Bureika, G. (2025). Decarbonizing Strategy of Ukrainian Transport Sector. *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort: Proceedings of ITS ESQC. 2024. Vol. 1* / eds. O. Slavinska, V. Danchuk, O. Kunytska, O. Hulchak. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 1335. Springer, P. 109–119. DOI: 10.1007/978-3-031-87376-8\_10
2. European Union Agency for Railways. (2024). *All aboard! 2024 Rail Environmental Report*. ERA.
3. Sladkowski, A., Bureika, G., Matijošius, J., Rimkus, A. at all. (2020). *Ecology in transport: problems and solutions*: monograph. Springer, 563 p.
4. Kapetanović, M., Núñez, A., van Oort, N., & Goverde, R. M. P. (2024). Energy use and greenhouse gas emissions of traction alternatives for regional railways. *Energy Conversion and Management*. Vol. 303. Art. 118202. DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118202. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890424001432> (дата звернення: 30.01.2026).
5. DB Cargo AG. (2023). *How DB Cargo is responding to the diesel phase-out with the biofuel HVO*: whitepaper. DB Cargo AG. URL: [https://www.dbcargo.com/resource/blob/10559116/a845551b03f3fda2e8910accb95ed360/EN\\_Whitepaper\\_HVO-data.pdf](https://www.dbcargo.com/resource/blob/10559116/a845551b03f3fda2e8910accb95ed360/EN_Whitepaper_HVO-data.pdf) (дата звернення: 30.01.2026).
6. Neste Corporation. (2023). *Deutsche Bahn to purchase 13,000 tons of Neste MY Renewable Diesel*: press release. URL: <https://www.neste.com/news/deutsche-bahn-to-purchase-13-000-tons-of-neste-my-renewable-diesel> (дата звернення: 30.01.2026).
7. LTG grupė. (2025). *Dyzelinas HVO100 (projekto aprašas)*. URL: <https://ltg.lt/inovacijos/vykdomi-inovaciju-projektai/dyzelinas-hvo100/> (дата звернення: 30.01.2026).
8. Association of European Rail Rolling Stock Lessors (AERRL). (2023). *Study on alternatives on fossil diesel use in railways*. AERRL. URL: [https://aerri.eu/wp-content/uploads/2023/04/AERRL\\_Report\\_Study-on-alternatives-on-fossil-diesel-use-in-railways\\_final-Version\\_2001232.pdf](https://aerri.eu/wp-content/uploads/2023/04/AERRL_Report_Study-on-alternatives-on-fossil-diesel-use-in-railways_final-Version_2001232.pdf) (дата звернення: 30.01.2026).
9. International Union of Railways (UIC). (2007). *Railways and Biofuels — Final Report*. UIC. URL: [https://uic.org/IMG/pdf/railways\\_and\\_biofuels\\_final\\_report.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/railways_and_biofuels_final_report.pdf) (дата звернення: 29.01.2026).

10. Neste. *Questions and answers about Neste MY Renewable Diesel (FAQ)*. URL: <https://www.neste.com/products-and-innovation/neste-my-renewable-diesel/faq> (дата звернення: 30.01.2026).
11. Szeto, K. et al. (2022). Hydrotreated vegetable oil (HVO) as a superior substitute to fossil diesel: A comprehensive review on production, properties, and engine performance. *Fuel*. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125065
12. McCaffery, C., Zhu, H., Ahmed, C. M. S., Canchola, A., Chen, J. Y., Li, C., Johnson, K. C., Durbin, T. D., Lin, Y.-H., & Karavalakis, G. (2022). Effects of hydrogenated vegetable oil (HVO) and HVO/biodiesel blends on the physicochemical and toxicological properties of emissions from an off-road heavy-duty diesel engine. *Fuel*. Vol. 323. Art. 124283. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.124283. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122011358> (дата звернення: 30.01.2026).
13. Aredah, A., Du, J., Hegazi, M., List, G., & Rakha, H. A. (2024). Comparative analysis of alternative powertrain technologies in freight trains: A numerical examination towards sustainable rail transport. *Applied Energy*. Vol. 356. Art. 122411. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.122411. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923017750> (дата звернення: 30.01.2026).
14. Ai, W. et al. (2024). Impact of Various Factors on Long-Term Storage of Biodiesel and Its Prevention: A Review. *Energies*. DOI: 10.3390/en17143449. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/14/3449> (дата звернення: 30.01.2026).
15. Komariah, L. N. et al. (2022). Microbial contamination of diesel-biodiesel blends in storage tank; an analysis of colony morphology. *Heliyon*. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09264. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022005527> (дата звернення: 30.01.2026).
16. Henderson, P. T., Christison, K., Evers-McGregor, D. et al. (2022). ISO Paraffinic Diesel Fuel Lubricity Study. *SAE Technical Paper*. DOI: 10.4271/2022-01-5073. URL: <https://legacy.sae.org/publications/technical-papers/content/2022-01-5073/> (дата звернення: 30.01.2026).
17. Manoharan, A., Jeyadharmarajan, K. et al. (2023). Effect of antioxidant addition on stability and emission aspects of novel biodiesel generated from the yeast *Yarrowia lipolytica* cultivated on dairy effluent. *AIP Journal of Renewable and Sustainable Energy*. DOI: 10.1063/5.0168110. URL: <https://pubs.aip.org/aip/jrse/article-abstract/15/5/053102/2917390/Effect-of-antioxidant-addition-on-stability-and?redirectedFrom=fulltext> (дата звернення: 30.01.2026).
18. Kapetanović, M., Núñez, A., van Oort, N., & Goverde, R. M. P. (2024). Energy use and greenhouse gas emissions of traction alternatives for regional railways. *Energy Conversion and Management*. DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118202. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890424001432> (дата звернення: 30.01.2026).
19. Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail). *Making rail transport more sustainable, comfortable and quieter*: news article (19 Sep 2024). URL: <https://rail-research.europa.eu/latest-news/making-rail-transport-more-sustainable-comfortable-and-quieter/> (дата звернення: 30.01.2026).
20. British Standards Institution (BSI). (2023). *BS EN 15940:2023 — Automotive fuels. Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment. Requirements and test methods*. URL: <https://knowledge.bsigroup.com/products/automotive-fuels-paraffinic-diesel-fuel-from-synthesis-or-hydrotreatment-requirements-and-test-methods-1> (дата звернення: 30.01.2026).
21. British Standards Institution (BSI). (2019). *BS EN 14214:2012+A2:2019 — Liquid petroleum products. Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications. Requirements and test methods*. URL: <https://knowledge.bsigroup.com/products/liquid->

petroleum-products-fatty-acid-methyl-esters-fame-for-use-in-diesel-engines-and-heating-applications-requirements-and-test-methods-1 (дата звернення: 30.01.2026).

22. CEN (European Committee for Standardization). (2009). *EN 590:2009 — Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods*. URL: [https://www.envirochem.hu/www.envirochem.hu/documents/EN\\_590\\_2009\\_hhV05.pdf](https://www.envirochem.hu/www.envirochem.hu/documents/EN_590_2009_hhV05.pdf) (дата звернення: 30.01.2026).

### References

1. Samsonkin, V., Yurchenko, O., Sorochynska, O., Rohovyi, O., & Bureika, G. (2025). Decarbonizing Strategy of Ukrainian Transport Sector. *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort: Proceedings of ITS ESQC*. 2024. Vol. 1 / eds. O. Slavinska, V. Danchuk, O. Kunytska, O. Hulchak. Lecture Notes in Networks and Systems. Vol. 1335. Springer, P. 109–119. DOI: 10.1007/978-3-031-87376-8\_10

2. European Union Agency for Railways. (2024). *All aboard! 2024 Rail Environmental Report*. ERA.

3. Sladkowski, A., Bureika, G., Matijošius, J., & Rimkus, A. etc. (2020). *Ecology in transport: problems and solutions*: monograph. Springer, 563 p.

4. Kapetanović, M., Núñez, A., van Oort, N., & Goverde, R. M. P. (2024). Energy use and greenhouse gas emissions of traction alternatives for regional railways. *Energy Conversion and Management*. Vol. 303. Art. 118202. DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118202. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890424001432> (date of application: 30.01.2026).

5. DB Cargo AG. (2023). *How DB Cargo is responding to the diesel phase-out with the biofuel HVO: whitepaper*. DB Cargo AG. Retrieved from: [https://www.dbcargo.com/resource/blob/10559116/a845551b03f3fda2e8910accb95ed360/EN\\_Whitepaper\\_HVO-data.pdf](https://www.dbcargo.com/resource/blob/10559116/a845551b03f3fda2e8910accb95ed360/EN_Whitepaper_HVO-data.pdf) (date of application: 30.01.2026).

6. Neste Corporation (2023). *Deutsche Bahn to purchase 13,000 tons of Neste MY Renewable Diesel*: press release. Retrieved from: <https://www.neste.com/news/deutsche-bahn-to-purchase-13-000-tons-of-neste-my-renewable-diesel> (date of application: 30.01.2026).

7. LTG grupė. (2025). *Dyzelinas HVO100 (projekto aprašas)*. Retrieved from: <https://ltg.lt/inovacijos/vykdomi-inovaciju-projektai/dyzelinas-hvo100/> (date of application: 30.01.2026).

8. Association of European Rail Rolling Stock Lessors (AERRL). (2023). *Study on alternatives on fossil diesel use in railways*. AERRL. Retrieved from: [https://aerri.eu/wp-content/uploads/2023/04/AERRL\\_Report\\_Study-on-alternatives-on-fossil-diesel-use-in-railways\\_final-Version\\_2001232.pdf](https://aerri.eu/wp-content/uploads/2023/04/AERRL_Report_Study-on-alternatives-on-fossil-diesel-use-in-railways_final-Version_2001232.pdf) (date of application: 30.01.2026).

9. International Union of Railways (UIC). (2007). *Railways and Biofuels — Final Report*. UIC. Retrieved from: [https://uic.org/IMG/pdf/railways\\_and\\_biofuels\\_final\\_report.pdf](https://uic.org/IMG/pdf/railways_and_biofuels_final_report.pdf) (date of application: 29.01.2026).

10. Neste. *Questions and answers about Neste MY Renewable Diesel (FAQ)*. Retrieved from: <https://www.neste.com/products-and-innovation/neste-my-renewable-diesel/faq> (date of application: 30.01.2026).

11. Szeto, K. etc. (2022). Hydrotreated vegetable oil (HVO) as a superior substitute to fossil diesel: A comprehensive review on production, properties, and engine performance. *Fuel*. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.125065

12. McCaffery, C., Zhu, H., Ahmed, C. M. S., Canchola, A., Chen, J. Y., Li, C., Johnson, K. C., Durbin, T. D., Lin, Y.-H., & Karavalakis, G. (2022). Effects of hydrogenated vegetable oil (HVO) and HVO/biodiesel blends on the physicochemical and toxicological properties of emissions from an off-road heavy-duty diesel engine. *Fuel*. Vol. 323. Art. 124283. DOI: 10.1016/j.fuel.2022.124283.

Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122011358> (date of application: 30.01.2026).

13. Aredah, A., Du, J., Hegazi, M., List, G., & Rakha, H. A. (2024). Comparative analysis of alternative powertrain technologies in freight trains: A numerical examination towards sustainable rail transport. *Applied Energy*. Vol. 356. Art. 122411. DOI: 10.1016/j.apenergy.2023.122411. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923017750> (date of application: 30.01.2026).

14. Ai, W. et al. (2024). Impact of Various Factors on Long-Term Storage of Biodiesel and Its Prevention: A Review. *Energies*. DOI: 10.3390/en17143449. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/1996-1073/17/14/3449> (date of application: 30.01.2026).

15. Komariah, L. N. et al. (2022). Microbial contamination of diesel-biodiesel blends in storage tank; an analysis of colony morphology. *Heliyon*. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e09264. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022005527> (date of application: 30.01.2026).

16. Henderson, P. T., Christison, K., & Evers-McGregor, D. et al. (2022). ISO Paraffinic Diesel Fuel Lubricity Study. *SAE Technical Paper*. DOI: 10.4271/2022-01-5073. Retrieved from: <https://legacy.sae.org/publications/technical-papers/content/2022-01-5073/> (date of application: 30.01.2026).

17. Manoharan, A., Jeyadharman, K. et al. (2023). Effect of antioxidant addition on stability and emission aspects of novel biodiesel generated from the yeast *Yarrowia lipolytica* cultivated on dairy effluent. *AIP Journal of Renewable and Sustainable Energy*. DOI: 10.1063/5.0168110. Retrieved from: <https://pubs.aip.org/aip/jrse/article-abstract/15/5/053102/2917390/Effect-of-antioxidant-addition-on-stability-and?redirectedFrom=fulltext> (date of application: 30.01.2026).

18. Kapetanović, M., Núñez, A., van Oort, N., & Goverde, R. M. P. (2024). Energy use and greenhouse gas emissions of traction alternatives for regional railways. *Energy Conversion and Management*. DOI: 10.1016/j.enconman.2024.118202. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890424001432> (date of application: 30.01.2026).

19. Europe's Rail Joint Undertaking (EU-Rail). *Making rail transport more sustainable, comfortable and quieter*: news article (19 Sep 2024). Retrieved from: <https://rail-research.europa.eu/latest-news/making-rail-transport-more-sustainable-comfortable-and-quieter/> (date of application: 30.01.2026).

20. British Standards Institution (BSI). (2023). *BS EN 15940:2023 — Automotive fuels. Paraffinic diesel fuel from synthesis or hydrotreatment. Requirements and test methods*. Retrieved from: <https://knowledge.bsigroup.com/products/automotive-fuels-paraffinic-diesel-fuel-from-synthesis-or-hydrotreatment-requirements-and-test-methods-1> (date of application: 30.01.2026).

21. British Standards Institution (BSI). (2019). *BS EN 14214:2012+A2:2019 — Liquid petroleum products. Fatty acid methyl esters (FAME) for use in diesel engines and heating applications. Requirements and test methods*. Retrieved from: <https://knowledge.bsigroup.com/products/liquid-petroleum-products-fatty-acid-methyl-esters-fame-for-use-in-diesel-engines-and-heating-applications-requirements-and-test-methods-1> (date of application: 30.01.2026).

22. CEN (European Committee for Standardization). (2009). *EN 590:2009 — Automotive fuels. Diesel. Requirements and test methods*. Retrieved from: [https://www.envirochem.hu/www.envirochem.hu/documents/EN\\_590\\_2009\\_hhV05.pdf](https://www.envirochem.hu/www.envirochem.hu/documents/EN_590_2009_hhV05.pdf) (date of application: 30.01.2026).

---

Роговий Олександр Васильович, аспірант кафедри технологій транспорту та управління процесами перевезень, Національний транспортний університет (НТУ), Україна. ORCID iD: 0009-0001-4867-6793. Тел.: +38 (095) 61-37-925. E-mail: oleksroho@gmail.com.

---

Rohovyi Oleksandr Vasylovych, postgraduate student, Department of Transport Technologies and Transportation Process Management, National Transport University (NTU), Ukraine. ORCID iD: 0009-0001-4867-6793.  
Tel.: +38 (095) 61-37-925. E-mail: oleksroho@gmail.com.

Дата надходження статті 06.04.2026 р.

Дата прийняття статті до друку 18.05.2026 р.

Дата публікації (оприлюднення) статті 29.05.2026 р.

Стаття поширюється на умовах ліцензії Creative Commons Attribution License International CC-BY