

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОБІЛЬНИХ ЗАЛІЗНИЧНИХ ХАБІВ ДЛЯ ОБРОБКИ СИПУЧИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

¹Український державний університет залізничного транспорту²ТОВ Гранбудтор

Анотація

Розглянуто технологію мобільних залізничних хабів для оперативної обробки сипучих та будівельних матеріалів у процесах масштабної відбудови України. Запропонована концепція «Дошка-Мембрана» забезпечує зниження капітальних витрат, підвищення мобільності логістики та захист інфраструктури від перевантажень.

Ключові слова: мобільний залізничний хаб, сипучі матеріали, логістика відбудови, демпферна технологія, логістика всюди, залізничний транспорт, будівельні матеріали.

Abstract

The paper analyzes the technology of mobile railway hubs for efficient handling of bulk and construction materials in the large-scale reconstruction processes of Ukraine. The proposed "Board-Membrane" concept ensures drastic reduction of capital expenditures, high mobility of logistics, and protection of railway infrastructure from overloads.

Keywords: mobile railway hub, bulk materials, reconstruction logistics, damping technology, Anywhere Logistics, railway transport, construction materials.

Вступ

Процеси масштабної відбудови України у 2026–2027 роках потребують переміщення близько 180 млн т будівельних матеріалів, з яких 65% становлять сипучі інертні матеріали (щебінь, пісок, цемент). Традиційна логістика обмежена стаціонарними вантажними фронтами, будівництво яких потребує значних капітальних витрат (від 8 млн грн на термінал) та часового лагу до 24 місяців. Станом на 2024 рік 78% механізованих фронтів зосереджені у великих вузлах, що створює черги вагонів та дефіцит розвантажувальних потужностей у місцях безпосередньої відбудови. Це обумовлює необхідність концепції «Anywhere Logistics» (Логістика всюди)— розгортання мобільних хабів на лінійних станціях без капітального будівництва [1, 2].

Результати дослідження

Основою мобільного хабу є інноваційна технологія пасивного демпферного екранування «Дошка-Мембрана», яка дозволяє розвантажувати піввагони через нижні люки безпосередньо на міжрейковий простір без пошкодження інфраструктури.

Конструкція системи складається з:

- Дерев'яного каркаса: виготовляється з некондиційної дошки (40-50 мм), що укладається під кутом $\alpha = 35^\circ - 45^\circ$. Він поглинає енергію удару та розподіляє навантаження на баласт.
- Полімерної мембрани: товщиною 3-5 мм (можливе використання вторинної сировини — відпрацьованих біг-бегів). Вона створює ковзку поверхню ($f = 0.25 - 0.35$) та герметизує зону розвантаження.

Математичне моделювання та верифікація засновано на тому, що фізика процесу базується на теорії удару та реології сипучих середовищ. Ключовим параметром є сила динамічного удару (F_{impact}), що розраховується через зміну імпульсу порції вантажу масою M при падінні з висоти h :

$$F_{\text{impact}} = \frac{M \cdot \sqrt{2gh}}{\Delta t} \quad (1)$$

де Δt — час демпфування (для деревини 0.15–0.25 с).

Результати розрахунків для щебню:

- Динамічна сила: досягає 97 кН.

- Тиск на баласт: завдяки демпфуванню деревиною () напруження $\sigma_{\text{баласт}}$ становить близько 0.072 МПа, що значно нижче допустимого рівня 0.45 МПа.
- Стабільність: на початковому етапі існує ризик зсуву екрана (коефіцієнт запасу < 1.5), що потребує попереднього баластування або встановлення упорів.

Ресурс та експлуатаційні показники наступні:

- Ресурс каркаса: через накопичення залишкових деформацій становить близько 245 циклів (бл. 1.6 місяця при інтенсивній роботі).
- Ресурс мембрани: завдяки низькому абразивному зносу (1.5 мкм за цикл) витримує понад 2600 циклів.
- Захист колії: екранування перехоплює 95% дрібних фракцій, що подовжує міжремонтний цикл баласту у 25 разів.

Показники порівняльної економічної ефективності наведено у табл. 1: впровадження мобільних хабів дозволяє кардинально змінити економіку логістики.

Таблиця 1. Показники порівняльної економічної ефективності запропонованої інноваційної мобільної та традиційної технології обробки сипучих та будівельних матеріалів

Параметр	Мобільний хаб	Стаціонарна естакада
Капітальні витрати (CAPEX)	8,500 – 12,000 грн	1,250,000 – 1,800,000 грн
Час розгортання	60 хвилин	6 – 12 місяців
Ефект для рухомого складу	Подовження ресурсу люків у 2.7 раза	Стандартний знос

Технологія розгортання запропонованої інноваційної мобільної технології обробки сипучих та будівельних матеріалів має повний цикл монтажу хабу триває 60 хвилин бригадою з 2–4 осіб:

1. Підготовчі роботи (30 хв): очищення колії, вирівнювання баласту, встановлення знаків.
2. Монтаж каркаса (20 хв): укладання опор та поздовжніх дощок.
3. Накриття мембраною (10 хв): натягування полотна та герметизація стиків.

Висновки

Таким чином, концепція мобільних залізничних хабів на основі пасивного екранування вирішує проблему «вузького горлечка» у логістиці відбудови [3]. Вона забезпечує:

- Зниження вартості облаштування пунктів розвантаження на 99%.
- Збереження ресурсу залізничної інфраструктури та рухомого складу (зменшення забруднення букс на 85%).
- Високу мобільність та адаптивність до змін географії попиту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. World Bank Group. Ukraine Rapid Damage and Needs Assessment (RDNA4) February 2022 – December 2024. Washington, DC: World Bank, 2025. 202 p. URL <https://ukraine.un.org/sites/default/files/2025-02/P1801741ca39ec0d81b5371ff73a675a0a8.pdf>
2. Ломотько Д.В., Ільчишин В.М., Афанасова О.Ф., Нестеренко О.О. Удосконалення технології функціонування зернових логістичних ланцюгів за участю залізничного транспорту. Залізничний транспорт України. – 2025. - № 2. – С. 4-11. DOI: 10.34029/2311-4061-2025-155-2-04-11
3. Ломотько Д.В., Ільчишин В.М., Ломотько М.Д., Кудряшов Д.В. Формування термінальної системи розподілу товарів при їх перевезенні залізницею. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. – 2024. – Вип. 210. – С. 217 – 226. DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.210.2024.320854>

Ломотько Денис Вікторович, докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри Транспортні системи та логістика, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна, e-mail den@kart.edu.ua (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7624-2925>)

Чайка Максим Ігорович, технічний консультант, ТОВ Гранбудторг, Харків, Україна e-mail tsl_lab@kart.edu.ua (ORCID <https://orcid.org/0009-0005-6240-0602>)

Lomotko Denis V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Transport Systems and Logistics, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine, e-mail den@kart.edu.ua (ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7624-2925>)

Chayka Maksym I., Technical Consultant, Granbudtorg LLC, Kharkiv, Ukraine e-mail tsl_lab@kart.edu.ua (ORCID <https://orcid.org/0009-0005-6240-0602>)