

3. Чухрай Н. І. Логістичне обслуговування : підручник. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. — 292 с.
4. Дикань В. Л., Назаренко І. Л. Розвиток логістичних систем в Україні в умовах глобалізації // Економіка транспортного комплексу. — 2021. — № 37. — С. 45–52.
5. Коваленко О. В. Сучасні тенденції розвитку логістики в Україні // Економіка та держава. — 2022. — № 5. — С. 112–116.
6. Офіційний сайт Державна служба статистики України. — Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua>
7. Офіційний сайт Міністерство розвитку громад та територій України. — Режим доступу: <https://www.minregion.gov.ua>
8. Огляд логістичного ринку України в умовах війни // Аналітичний звіт Pro-Consulting, 2023.
9. Логістика України у 2024–2025 роках: тенденції та перспективи // Аналітичні матеріали YouControl.
10. Сучасні тенденції розвитку міжнародної логістики // Національний університет «Львівська політехніка», наукові праці, 2023.

УДК 624.2/.8

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ УЛАШТУВАННЯ СПОЛУЧЕННЯ МОСТІВ З НАСИПОМ ПІДХОДІВ

Д.С. Махонько

*Харківський національний автомобільно-дорожній університет
mahonko104.dm@gmail.com*

Вступ

Еволюція мостобудування в останні десятиліття спрямована на підвищення довговічності та зниження експлуатаційних витрат транспортних споруд. Одним з найбільш критичних елементів конструкції моста є вузол сполучення прогонової будови з підходами дорожнього насипу. Комфорт і безпека проїзду значною мірою залежать від рівності підходів.

Різниця жорсткості і величини осідань залізобетонної конструкції і земляного полотна призводить до виникнення інтенсивних динамічних навантажень. Підходи також піддаються температурним деформаціям та складним гідрогеологічним впливам, що в сукупності призводить до появи так званої «передмостової ями» [1]. Вирішення цієї проблеми важливе для забезпечення довговічності мостових споруд.

Через велику кількість факторів, що призводять до руйнування вузла сполучення інженери пропонують нові конструкції, які є більш ефективними.

Мета

Проаналізувати новітні світові конструктивно-технологічні рішення улаштування вузлів сполучення, що базуються на принципах геотехнічної модифікації, зміни фізико-механічних властивостей насипу і виконання крайньої опори.

1. Механіка утворення деформацій

Аналіз світового геотехнічного досвіду доводить, що механізм утворення передмостової ями має яскраво виражену багатofакторну природу. Її фундаментальною першопричиною є диференційне (нерівномірне) осідання суміжних конструкцій, що мають радикально різну поздовжню та вертикальну жорсткість. У той час як міст, що спирається на жорсткі фундаменти глибокого закладення або масивні опори на скельних ґрунтах, має практично нульові вертикальні переміщення, тіло ґрунтового насипу та його природна основа неминуче піддаються процесам консолідації.

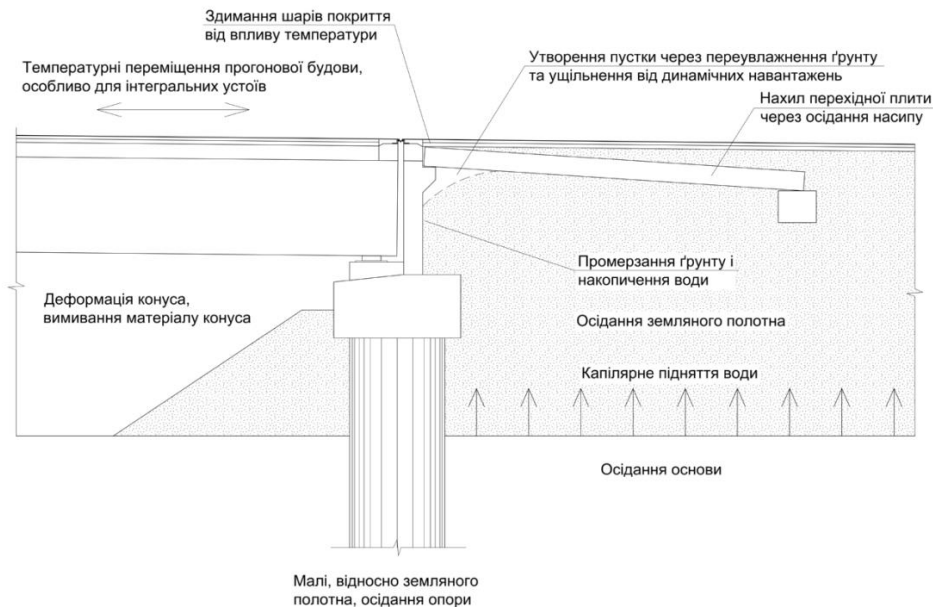


Рис. 1. Впливи на ділянку підходу, що ведуть до утворення нерівностей

Серед основних факторів, що впливають на утворення ями виділяють:

- *різницю жорсткостей* – абсолютно жорстка опора практично не дає осідання, тоді як прилеглий ґрунтовий підхід може деформуватися на значну величину, що неминуче призводить до утворення уступу;
- *внутрішню компресію ґрунту насипу* – виникає внаслідок недосягнення цільового коефіцієнта ущільнення під час виконання будівельно-монтажних робіт, а також через динамічне вібраційне доущільнення масиву від транспорту;

- *осідання основи* – розтягнуті у часі деформації природної основи під дією значної статичної ваги земляного полотна;
- *неефективне водовідведення* – призводить до застою поверхневих вод за стояном, що запускає ерозійне вимивання дрібних пилюватих часток ґрунту.

Влаштування залізобетонних перехідних плит вже багато років є традиційним методом з'єднання мосту з підходами насипу. Аналіз результатів сучасних натурних обстежень та моніторингу існуючих мостових переходів свідчить про те, що конструкція вузла сполучення все ще залишається вразливою. Ця зона і надалі потребує глибокого конструктивного вдосконалення та розробки принципово нових, раціональних рішень.

2. Аналіз новітніх технологій стабілізації перехідних зон

Технологія застосування надлегких матеріалів: EPS-геопіна

Однією з найпрогресивніших технологій є часткова або повна заміна традиційного ґрунту насипу на блоки екструдованого пінополістиролу (EPS) [2-4].



Рис. 2. Блоки EPS в тілі насипу підходу

Головна інженерна унікальність EPS полягає в його значній низькій об'ємній вазі (від 20 до 30 кг/м³), що становить лише близько 1-1,5% від щільності традиційного піщаного або дренажного ґрунту. Впровадження EPS вирішує одразу комплекс проблем:

- практично до нуля знижується додаткове статичне навантаження на слабку природну основу, що повністю нівелює ризик її довготривалої консолідації;

- оскільки EPS є жорстким самонесучим матеріалом, він формує нульовий активний бічний тиск на шафову стінку берегової опори. Це дозволяє оптимізувати конструкцію самого стояна, зробивши його більш тонкостінним та економічним.

3. Інтегровані армоґрунтові мостові системи

Еволюція технологій армування ґрунту призвела до створення нового конструктивного рішення для сучасних мостів. Ця технологія полягає у пошаровому укладанні високоміцних георешіток або тканого геотекстилю в тілі насипу із заповненням міжмодульного простору фракційним щебневим матеріалом з ретельним ущільненням. Завдяки силам внутрішнього тертя та механічному зачепленню часток агрегату з комірками георешітки, ґрунт втрачає свою сипучість. Утворюється жорсткий масив, який здатен витримувати значні вертикальні навантаження. Міст спирається безпосередньо на посилений армоґрунтовий масив через невеликий бетонний опорний блок [5]. Така конструкція забезпечує рівномірні осідання як конструкції мосту так і самого насипу підходу, ефективно поглинає транспортні вібрації.

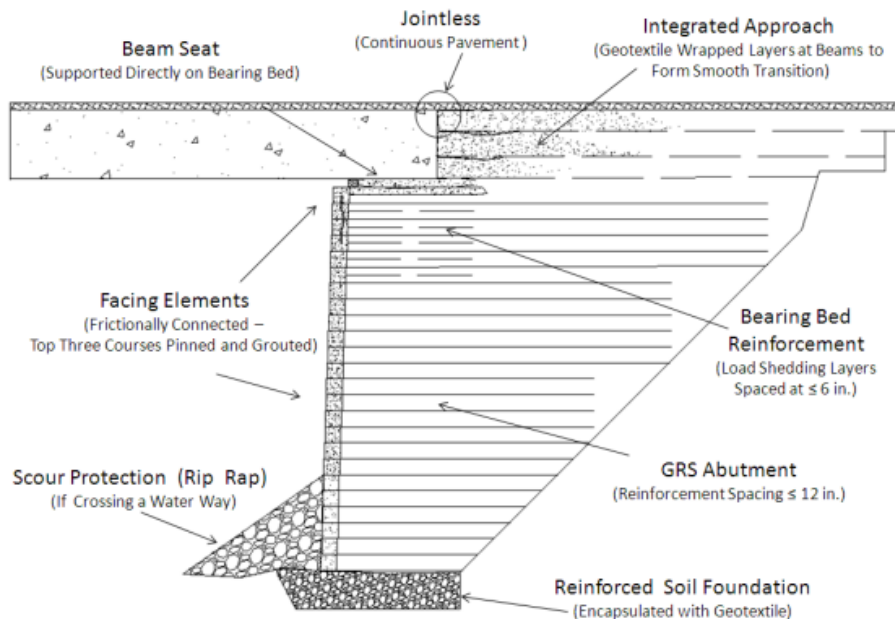


Рис. 3. Система інтегрального мосту, опора якого опирається безпосередньо на укріплений ґрунт

4. Розподільчі платформи на пальовій основі з базальним армуванням

Для ділянок підходів, розташованих на водонасичених або торф'яних ґрунтах, класичні методи ущільнення є економічно недоцільними. Сучасним рішенням є влаштування насипу на пальовому полі, де інноваційність полягає у відмові від дорогого залізобетонного ростверку на користь гнучкої

геосинтетичної конструкції [6]. Над оголовками палей влаштовується базальний армогрунтовий шар. У цьому масиві формується так званий «ефект ґрунтового склепіння». Вертикальне навантаження від ваги насипу перерозподіляється через ґрунтові арки безпосередньо на жорсткі палі, в той час як георешітка працює на розтяг. Це гарантує нульове осідання підходу біля мосту.

5. Технології хімічного закріплення основи

У випадках реконструкції існуючих об'єктів застосовують глибинне змішування або струменеву цементацію. Цей метод дозволяє створювати жорсткі ґрунтоцементні колони безпосередньо в тілі існуючого слабкого насипу [7]. Змінюючи крок колон (від щільного біля мосту до більш рідкого віддалік), інженери створюють ідеальний градієнт жорсткості – плавний перехід від жорсткого залізобетону стояна до м'якого земляного полотна автодороги.

Висновки Проблема формування передмостової ями не вирішена і вимагає вдосконалення традиційних конструкцій. Структурне перекриття дефектної зони залізобетонними перехідними плитами довело свою недостатню ефективність у довгостроковій перспективі.

Відбувається поступове розширення арсеналу інженерних рішень за рахунок новітніх технологій: надлегких матеріалів (EPS), армування ґрунту, гнучких палевих платформ та хімічного модифікування ґрунтів.

Література

1. Briaud, J.-L., James, R. W., & Hoffman, S. B. (1997). *Settlement of bridge approaches (the bump at the end of the bridge)* (NCHRP Synthesis of Highway Practice 234). Transportation Research Board, National Research Council.
2. Stark, T. D., Arellano, D., Horvath, J. S., & Leshchinsky, D. (2004). *Guideline and recommended standard for geofam applications in highway embankments* (NCHRP Report 529). Transportation Research Board.
3. Aabøe, R. (б. д.). 40 years of experience with the use of EPS Geofam blocks in road construction.
4. Malai, A., Youwai, S., Watcharasawe, K., & Jongpradist, P. (2022). Bridge approach settlement mitigation using expanded polystyrene foam as light backfill: Case study and 3D simulation. *Transportation Geotechnics*, 35, 100794. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100794>

5. Adams, M., Nicks, J., Stabile, T., Wu, J. T., Schlatter, W., & Hartmann, J. (2012). *Geosynthetic Reinforced Soil Integrated Bridge System Interim Implementation Guide* (Report No. FHWA-HRT-11-026). Federal Highway Administration.

6. Han, J., & Gabr, M. A. (2002). Numerical analysis of geosynthetic-reinforced and pile-supported earth platforms over soft soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 128(1), 44-53.

Bruce, D. A., Bruce, M. E. C., & DiMillio, A. F. (2013). *Deep mixing for embankment and foundation support* (Report No. FHWA-HRT-13-046). Federal Highway Administration.