

ПІДСИЛЕННЯ НАСИПІВ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ ПРИ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ

В.І. Риндюк, М.Ф. Друкований, С.В. Матвеев

За останні сорок років у будівельній галузі світу важко знайти проблему, яка б викликала стільки творчого інтересу спеціалістів, дала такий великий поштовх інженерним рішенням складних проблем підвищення несучої спроможності ґрунтів і дозволила отримати таку велику економічну ефективність як проблема використання споруд з армованих ґрунтів. Сам принцип армування ґрунтів був відомий ще за 4-5 тисячоліть до нашої ери. Однак французьким вченим А. Відалем було розроблено, офіційно визнано і запатентовано новий вид матеріалу „армований ґрунт”. Він виявився настільки ефективним, що його почали широко використовувати при будівництві залізничних та автомобільних доріг, гідротехнічних споруд, при реконструкції та будівництві громадських та промислових будівель, для захисту ґрунтових масивів від зсувів та обвалів, при будівництві та реконструкції припортових споруд.

Суть такого способу укріплення становить введення в ґрунтовий масив для його зміцнення лінійних елементів армування, що мають довжину набагато більшу, ніж ширина і товщина. Горизонтальні і похилі елементи армування, переважно з полімерних матеріалів, перешкоджають руйнації масиву. Вони сприймають найбільш небезпечні напруги розтягнення, які не сприймає звичайний ґрунт, і утримують частки ґрунту за рахунок сил тертя по поверхнях контакту.

Для України застосування армування ґрунтів у будівництві має особливо важливе значення. Її територія представлена майже всіма складними ґрунтовими умовами: просадність, зсуви, карст, суфозія, ґрунти, що набухають і т. д. В таких умовах під час будівництва і експлуатації виникають великі деформації, що приводить до часткової або повної руйнації збудованих об'єктів, що спонукає до впровадження захисних заходів, зменшення деформацій основ та їхнього впливу на будівлі і споруди. Створення подібної до композитних матеріалів ґрунтової основи будівель та споруд, що має анізотропну будову і високі показники міцності і стійкості, є одним з перспективних методів вирішення цих питань в складних ґрунтових умовах, при особливих умовах експлуатації.

Залізниці завжди були армовані щебенем, на який клалась рейкова решітка. Тільки раніше швидкість потягів та їх вага були невеликими і щебенева підсіпка слугувала десятки років. Коли ми перейшли на чотирьохосьові вагони з вагою більше 60 тонн та збільшили швидкість руху потягів, ми збільшили висоту щебеневої засипки до 0,45-0,5 м. Проте в ході експлуатації доріг щебенева засипка за рахунок динаміки насипу при русі потягів входили в ґрунтовий насип, її ефект знижувався. Крім цього в щебенева засипку потрапляла вода, вона розріджувала ґрунт, і за рахунок динамічної хвилі потяга знижувала міжремонтні строки експлуатації залізниці. При переході на швидкість руху потягів більше 100 км/год їх експлуатація стала надзвичайно трудомісткою. Життя вимагало швидкостей 150-200 км/год, а в деяких країнах – 250-350 км/год. При швидкості потягу більше 150 км/год в земельному насипу формується динамічна хвиля, яка зовсім змінює свою дію на ґрунт. При такій швидкості потягу динамічна хвиля затягує в ґрунт насипу щебінь, а при зволоженні насипу розріджує його та робить неможливою подальшу експлуатацію залізниці. При таких умовах весь світ перейшов на армовані насипи залізниць. Оскільки наші залізниці за своїми геометричними розмірами однакові з залізницями Російської Федерації, то доцільно буде всі питання армування насипу залізниці розглядати на прикладі стандартів реконструкції основної площадки земляного полотна та баластної призми при швидкості руху пасажирських потягів 200 км/год. При попаданні в земляне полотно вологи або при промерзанні та відтаванні ґрунту динамічна хвиля розріджує земляне полотно і руйнує земляний насип.

Тому при швидкісному русі потягів для захисту насипу потрібно вирішити три питання:

1. Захистити насип від проникнення в нього щебеня баластної призми.
2. Запобігти проникненню в земляний насип вологи як зверху, так і знизу.
3. Запобігти промерзанню та розмерзанню ґрунту в земельному насипу геотканинами чи пінополістирольними плитами.

Короткочасні навантаження на рейки залізниць швидкісними потягами створюють значні

імпульси динамічних напруг, які розповсюджуються по підсипці зі щебеню та ґрунту у формі повздовжніх хвиль стиснення-розтягнення. При повторенні навантажень за рахунок коліс вагонів відбуваються об'ємні, а біля поверхні – зсувні деформації, тобто відбуваються процеси віброущільнення і віброповзучості. При зростанні швидкості потягів швидкість й амплітуда коливання рейок збільшується. Максимальний рівень напруг в імпульсах при збільшенні швидкості від 100 до 300 км/год. збільшується, що викликає незворотні деформації ґрунтової основи під щебеневою підсипкою.

А тепер розглянемо детальніше руйнівну роботу динамічних хвиль.

При русі потягів з відносно невеликими швидкостями (близько 100 км/год), на які і були розраховані більшість існуючих насипів, енергія динамічних хвиль була на порядок меншою, ніж при швидкостях 200-300 км/год. А тому багато явищ, які є дуже суттєвими і руйнівними на високих швидкостях, при низьких або взагалі були відсутні, або практично не мали ніякого впливу. Відповідно при проектуванні насипу не передбачалися методи захисту від них.

Зокрема при великих швидкостях хвиля має достатньо енергії, щоб попри згасання і розсіювання відбиватися та накладатися на первинну хвилю, що створює резонанс та нові хвилі.

Розглянемо рис. 1. На ньому показано прямі хвилі (1 і 2) та відбиті (3 і 4). Видно, що на бічній поверхні насипу фронт хвилі 2 не перпендикулярний до неї. Відповідно виникає деяке розтягуюче навантаження.

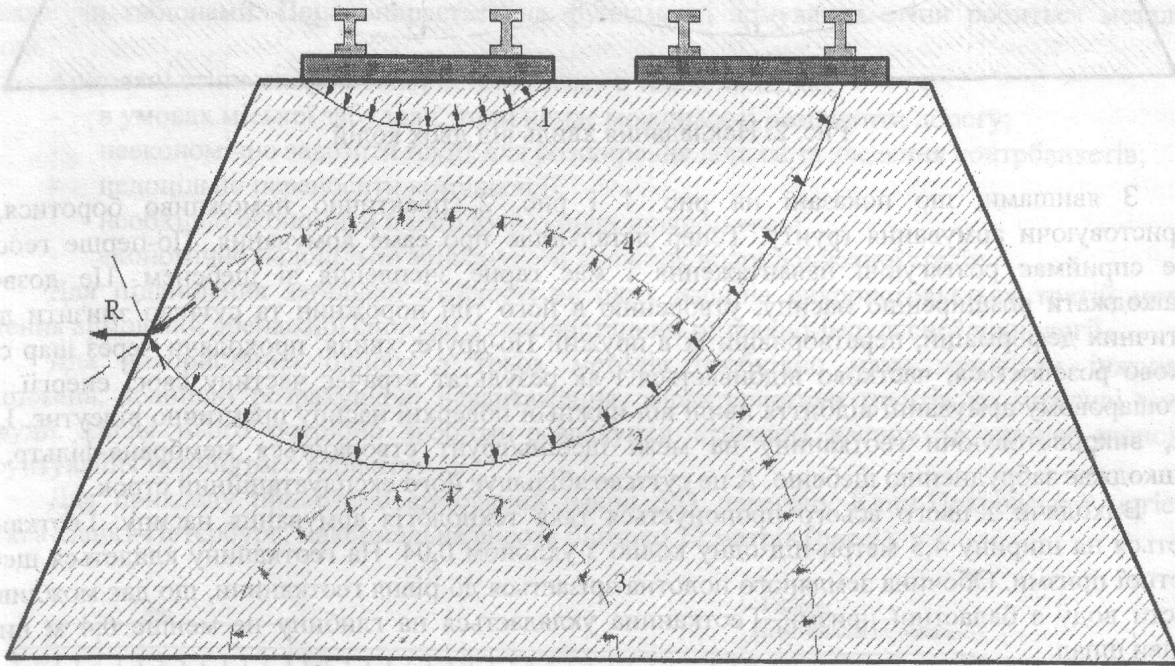


Рис. 1. Прямі та відбиті хвилі в тілі насипу

Але неармований ґрунт дуже погано сприймає розтяг, це призводить до розширення, зменшення висоти і як наслідок руйнування насипу. При низьких швидкостях з цією проблемою можна було боротися, зробивши насип більш пологим (пунктир напрямлений донизу). Але при високих швидкостях хвиля 4 має суттєву енергію. Як видно з рисунку, їх результуюча R направлена практично горизонтально, і насипи з таким кутом ніхто будувати не буде через їх величезну ширину.

Суть ще одного явища показана на рис. 2. Як правило по насипу проходять дві і більше колій. В деякі моменти часу два потяги, що йдуть у різних напрямках, розминаються, тобто проходять через один відрізок насипу. В цей момент джерелом хвиль є обидві колії. При зустрічі хвилі від двох джерел створюють збільшене напруження на стиск. Але потім вони проходять далі і, як видно з рисунку, створюють розтягуючі напруження, які набагато страшніші. Внаслідок розтягу в тілі насипу створюється деяка пустота. Насип має певну вологість і ця пустота починає наповнюватись водою. Якщо вона виникла не в щебені, а в насипному ґрунті, то вода перетворює

ґрунт на болото. З часом цей „пузир” збільшується, що послаблює насип, а також забруднює щебінь, що призводить до виникнення пластичних, незворотних деформацій, і як наслідок – руйнування насипу.

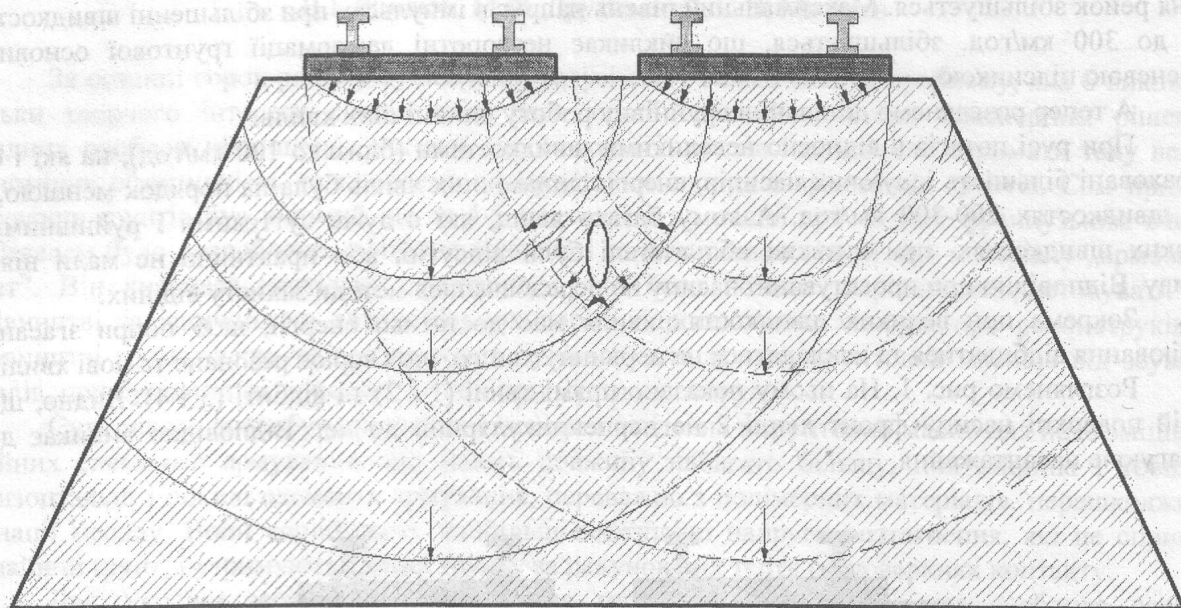


Рис. 2. Накладання хвиль від двох колій

З явищами, що показані на рис. 1 і рис. 2, практично неможливо боротися, не використовуючи армування ґрунту. Тепер детальніше про саме армування. По-перше геосітка добре сприймає розтягуючі навантаження і має гарне зчеплення зі щебенем. Це дозволяє перешкоджати розширенню насипу, утворенню в його тілі порожнин та суттєво знизити долю пластичних деформацій, перетворивши їх в пружні. По-друге, хвиля, проходячи через шар сітки частково розсіюється, частково відбивається і як результат втрачає частину своєї енергії. При багат шаровому армуванні відбиття хвилі від нижньої поверхні насипу практично відсутнє. І, по-третє, використовуючи геотканину на межі щебінь/ґрунт створюється мембрана-фільтр, що перешкоджає забрудненню щебеню. А це суттєво збільшує його експлуатаційний строк.

Виходячи з цього всього пропонується така технологія армування насипу. Геотканина кладеться на ширину 4,5 метри під одну колію з уклоном 0,04. На геотканину кладеться щебінь баластної призми. Обочина земляного полотна зрізається до рівня геотканини, що дає можливість відвести воду з баластної призми. Геотканина укладається на глибину не менше 0,4 м нижче підшви шпал.

Вона повинна мати достатню міцність на розрив та продавлювання щебенем, а по геометричних розмірах ролон геотканини повинен мати ширину 4,5 м, діаметром не більше 38 см. Геотканина повинна бути термостійка типу „Спандбонд”. Вона являє собою нетканий волокнистий матеріал з розплавів полімерів.

Використання геотканини для армування земляного насипу приводить до того, що відводиться волога, зменшується можливість промерзання земляного полотна та виключається затягування щебеню динамічною хвилею в земляне полотно. А усе разом взяте дає можливість для швидкого руху потягів.

Для розміщення геотканини під баластною призмою в світовій практиці розроблено дві технологічних схеми і комплекс машин та механізмів для виконання робіт.

Найбільш поширена технологічна схема армування земляного полотна геотканиною з використанням машини RM-80 чи „Самсон”. Машина RM-80 піднімає рейко-шпальну решітку, знімає і чистить щебінь на глибину 40 см, виставляє геотканину, засипає чистий щебінь та формує баластну призму. Недоліки цієї технології – низькі темпи виконання робіт.

Високі темпи виконання робіт можна досягти за рахунок іншої технологічної схеми. При цій схемі знімається рейко-шпальна решітка, виймається баластна призма, очищається баласт,

підготовлюється земляне полотно, у відповідності до умов армування насипу укладається геотканина і засипається баластна призма. Потім виконуються роботи по опорядженню баластної призми та виправленню залізниці.

При швидкісному русі потягів обов'язковою умовою будівництва та реконструкції дороги є приведення в порядок водовідвідних споруд та створення дренажних систем з двох сторін земляного полотна на глибину до 1 м.

Високі насипи є найбільш складним елементом залізниці при швидкісному русі потягів. Їх реконструкція є обов'язковою, найбільш складною та дорогою. При реконструкції високого насипу обов'язковим є його обстеження, проведення інженерно-геологічних досліджень, розробка проекту реконструкції та технології і організації робіт.

При реконструкції високих насипів можливі три методи його підсилення.

Традиційним методом підсилення загальної стійкості високих насипів є зведення контрбанкетів зі збільшенням довжини водопропускної труби. Цей метод надійний, він дозволяє використовувати армовані споруди. Але він має ряд суттєвих недоліків. Потрібно збільшити довжину водопропускної труби, значно збільшити ширину дорожнього полотна, виймати комунікації. В умовах міської забудови це стає неможливим.

Для підвищення загальної стійкості високого насипу використовується метод спорудження армованих стін без збільшення довжини водопропускної труби. Армована стіна являє собою армований масив дренажного ґрунту прямокутної форми а зовні облицьований залізобетонними блоками чи габіонами. Вона опирається на фундамент, армування стіни робиться металевою сіткою.

Армовані стіни можуть використовуватись в таких випадках:

- в умовах міської забудови, коли немає можливості розширити дорогу;
- неекономічно завозити ґрунт для розширення дороги та зведення контрбанкетів;
- недоцільно переносити комунікації;
- необхідно економити площі культурних ділянок землі;
- економічно недоцільно збільшувати довжину водопропускної труби.

Для підвищення загальної стійкості високих насипів використовується третій метод – зведення армованої дренажної споруди з використанням розрядно-імпульсної технології.

Для використання одного з трьох методів необхідно мати матеріали інженерних досліджень, зовнішні розрахункові навантаження, характеристики ґрунтів та можливі розміри споруди. Після цього потрібно зробити розрахунки стійкості насипу та техніко-економічне обґрунтування прийнятого варіанту.

Для прикладу приведемо армований насип 563 перегону Клин-Покровської магістралі Москва-Санкт-Петербург, максимальна висота близько 12 метрів (рис.3).

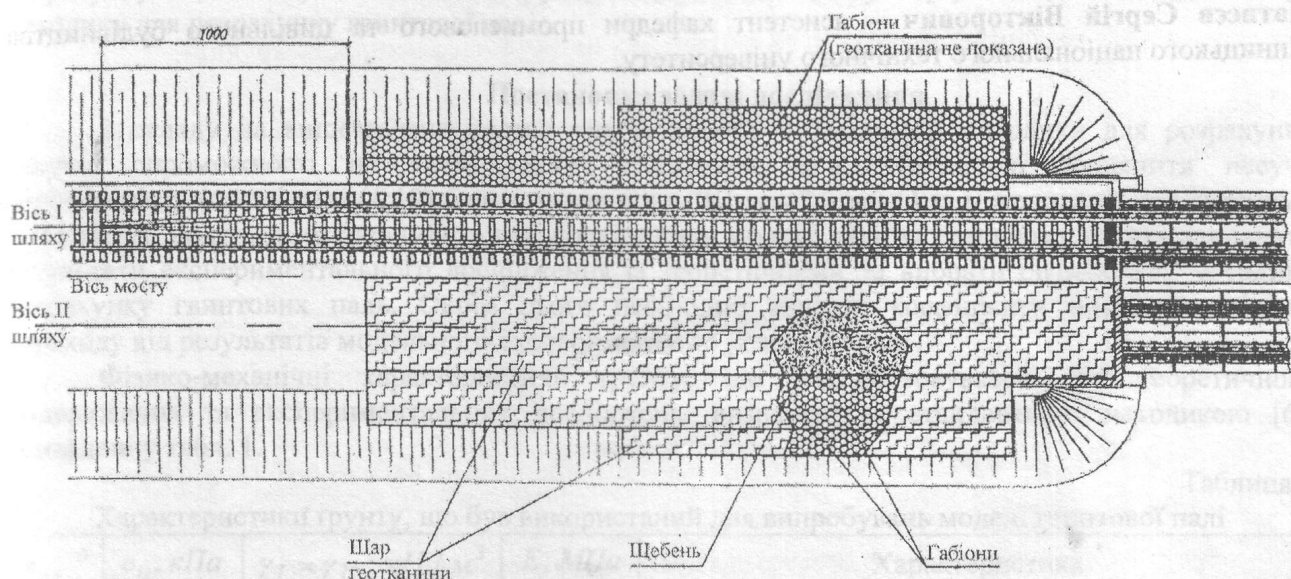


Рис.3. Армований насип 563 перегону Клин-Покровської магістралі Москва-Санкт-Петербург

Підпірна стіна складена з залізобетонних блоків $2,40 \times 0,60 \times 0,50$ і ґрунту, армованого металевою сіткою, приєднаного до залізобетонних блоків. Стіна має ширину 4 м, фундамент заглиблений до глибини промерзання на 1,5 метра. Для дренажу та відтоку води між нижнім рядом блоків залишені пройоми. Для стійкості самого насипу він армований двома рядами свердловин, заповнених бетоном. Під баластом прокладено пінополістирольні плити товщиною 40 мм. Ширина підпорної стіни розраховується. Підпірна стіна коло труби в одну і другу сторони викладена з 4 блоків довжиною 2,4 м. Загальна довжина підпірної стіни складає 23,2 м. За межами бетонної стіни насип підсилюється ґрунтовими контрбанкетами, які споруджуються по спеціальній технології ущільнення та армування ґрунту.

Висновки

Армування ґрунтів, як метод підсилення насипу, дозволяє значно покращити його фізико-механічні властивості, збільшити безвідмовний строк експлуатації та дозволяє переобладнувати залізницю під швидкісний рух потягів.

Дослідження поширення динамічних хвиль в тілі насипу дозволяє найбільш ефективно використовувати армуючі елементи та перешкоджати основним руйнівним процесам.

Список літератури

1. Стандартные проектные решения и технологии усиления земляного полотна при подготовке полигонов сети для введения скоростного движения пассажирских поездов. Выпуск 1. – М.: Министерство путей сообщения РФ. – 1997. – 171 с.
2. Барвашов В.Ф., Перков Ю.Р., Федоровский В.Г. Расчет земляного полотна, армированного синтетическими материалами // Тр. Гидродорнии. Вып. 13. – М.: Гидродорнии. – 1975.
3. Рубан О.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния «подработанных» армогрунтовых сооружений // Залізничний транспорт України. – 2000.
4. Банников С.Н. Деформативность и устойчивость армированных оснований // Будівельні конструкції №53. Книга 2 – К.: НДТБК – 2000.

Риндюк Володимир Іванович – к.ф-м.н., доцент кафедри теплогазопостачання і вентиляції Вінницького національного технічного університету.

Друкований Михайло Федорович – д.т.н., професор кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

Матвеев Сергій Вікторович – асистент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.