

УДК 624.137.625

*І. І. Кульбовський
К. П. Близнюк
О. Ю. Усиченко*

**КОНСТРУЮВАННЯ АРМОГРУНТОВИХ ПІДПІРНИХ
КОНСТРУКЦІЙ У ПРОЕКТАХ ТРАНСПОРТНОГО
БУДІВНИЦТВА**

У статті розглянуті особливості конструювання армогрунтових підпірних споруд із застосуванням геосинтетичних матеріалів з додатковим армуванням ґрунту засипки при будівництві та реконструкції залізничної колії.

В статье рассмотрены особенности конструирования армогрунтовых подпорных сооружений с применением геосинтетических материалов с дополнительным армированием грунта засыпки при строительстве и реконструкции железнодорожного пути.

The paper describes the features of designing soil reinforcement retaining structures with the use of geosynthetics reinforced with additional soil backfill in the construction and reconstruction of railway track.

Ключові слова: проект, залізнична колія, інженерна споруда, підпірні конструкції, геосинтетичні матеріали, армогрунт

Проектні рішення при будівництві та реконструкції залізничних шляхів мають забезпечувати дотримання транспортно-експлуатаційних показників залізничної колії, ефективне використання матеріальних і природних ресурсів, скорочення термінів та вартості будівництва. Зростання навантаження на залізничну колію у зв'язку з підвищенням швидкості руху та вагової норми вантажних поїздів вимагає уточнення методів розрахунку залізничної колії. Одним з напрямів таких уточнень є підвищення якості оцінки працездатності залізничної колії за рахунок удосконалення розрахункових характеристик підрейкової основи, зокрема армогрунтових підпірних конструкцій. Міцність і стійкість елементів нижньої будови колії визначаються перш за все конструкцією споруди та фізико-механічними характеристиками ґрунтів. Призначенням підпірних стін є запобігання бокового або похилого руху ґрунту у відкосах насипів і виїмок із відповідним збереженням їх міцності і стійкості. Армування підпірної конструкції забезпечує зниження бокового тиску ґрунту і зменшення матеріаломісткості підпірних споруд. Застосування підпірних стін та армуючих елементів дає можливість зменшити закладення укосів, зокрема для високих насипів, що дозволить скоротити терміни будівництва, зменшити обсяги земляних робіт та відведення цінних земель (підходи до мостів, шляхопроводів у містах, в курортних та рекреаційних зонах).

© *Кульбовський І. І., Близнюк К. П., Усиченко О. Ю., 2013*

Ефективним засобом підвищення експлуатаційних якостей та технічних характеристик конструкцій є застосування при їх спорудженні геосинтетичних матеріалів. Геосинтетики завдяки своїм властивостям (висока міцність на розтягнення і розрив при малих деформаціях, висока адгезія з ґрунтом, довговічність, стійкість до впливу хімічно агресивних середовищ) дають можливість зміцнювати слабкі основи, будувати насипи з укосами підвищеної крутизни, підвищувати несучу здатність ґрунтів, стабілізувати стійкість схилів, збільшити термін служби залізничної колії.

Конструювання підпірних конструкцій з застосуванням армуючих геосинтетиків має здійснюватися з урахуванням властивостей цих матеріалів і особливостей взаємодії елементів системи. Крім того, має бути враховано зниження активного тиску ґрунту засипки за рахунок введення у масив ґрунту армуючих прошарків. Аналіз роботи споруд, які взаємодіють з армованим ґрунтом, проведений вітчизняними та зарубіжними вченими, свідчить, що при армуванні підпірних стінок із зворотною засипкою сталевими стрічками та сітками реальні напруження, які виникають в армуванні, наближуються до розрахованих за методом зворотного клина і мають відмінності лише в основі армоґрунтової споруди. Разом з тим, у стінках з геосинтетичним армуванням спостерігається значне перевищення розрахункових даних порівняно з експериментальними, що свідчить про недосконалість існуючих методів розрахунків у процесі конструювання.

Задача конструювання армоґрунтових підпірних стінок зводиться до визначення геометричних розмірів стіни, матеріалів для їх спорудження та розрахунки підпірних стінок на стійкість, міцність і довговічність з обґрунтуванням варіантів з метою вибору найекономічнішого за даних умов.

Перший етап конструювання – визначення геометрії стіни. Підпірні стіни із залізобетону для армоґрунтових конструкцій рекомендуються кутового типу (без контрфорсів, а при висоті понад 3 м і з контрфорсами); при відповідному обґрунтуванні також можуть застосовуватися ряжеві та інші залізобетонні стіни. Конструкції підпірних стін можуть виконуватися монолітними, збірними та збірно-монолітними. На прямих ділянках відстань від осі найближчої залізничної колії до підпірної стінки на рівні підшви шпал і вище має бути не менше 3 – 3,5 м залежно від категорії ділянки колії. На кривих ділянках з зовнішнього боку кривої цю відстань необхідно збільшувати залежно від радіуса кривини.

На другому етапі здійснюють підбір заповнювача. Активний тиск ґрунту засипки може бути знижений за рахунок введення геосинтетичних армуючих прошарків. Армований ґрунт – це композитний матеріал, в якому скомбіновані характерні міцності двох різних матеріалів, зменшуючи недоліки кожного. Ґрунт характеризується низькою міцністю на розтяг, але високою міцністю на стиснення, яка обмежується властивістю ґрунту чинити опір зсувним напруженням. У даному випадку комбінація великого обсягу відносно дешевого матеріалу з міцністю на стиснення – ґрунту, поєднується з відносно меншою кількістю більш дорогого матеріалу з міцністю на розтяг – геосинтетиками, призводить до покращення фізико-механічних властивостей армованого ґрунту. При навантаженні армованого ґрунту вертикальними напруженнями з'являється деформація стиснення і результуюча бокова деформація розтягу. Таким чином, комбінація міцності на розтяг з міцністю на стиснення двох матеріалів покращує загальні характеристики композитного матеріалу аналогічно властивостям залізобетону. При встановленні розрахункової міцності ґрунту згідно з моделлю Кулона-Мора, питоме зчеплення (когезію) ґрунту приймають

рівним нулю. Розрахункове значення кута внутрішнього тертя визначають за формулою (1):

$$\varphi_{\text{вн}} = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg} \varphi}{\gamma_m} \right), \quad (1)$$

де γ_m – частковий коефіцієнт запасу на зсувну міцність ґрунту конструкції.

На третьому етапі здійснюють підбір елементів армування. Елементи армування мають дуже низьку жорсткість на згин і можуть сприймати тільки осьові напруження розтягу, оскільки їх товщина дуже мала порівняно з іншими розмірами конструкції. Напруження сприймаються армуванням за рахунок осьової жорсткості елемента. У разі використання для армування ґрунтів полімерних геосинтетиків – геотекстилів, геосіток та георешіток деформації розтягу при навантаженні проектними напруженнями перевищують 1% і таке армування розглядається як нежорстке.

Оскільки армування має жорсткість на розтяг більшу, ніж ґрунт, то бічне деформування ґрунту відбудеться у тому випадку, якщо відбудеться зсув на межі ґрунт – армування. Зусилля зсуву в ґрунті передаються розташованому поряд армуванню, як тільки у ґрунті починаються зсувні деформації. Зусилля зсуву нестабільної ґрунтової маси передаються армуванню через тертя та адгезію. Тертя – компонент опору зсуву, який є пропорційним нормальному напруженню, що діє на площину зсуву. Адгезія – опір зсуву між різними матеріалами (ґрунт та армування) і не залежить від нормального напруження. У результаті цього внутрішнього переформування зсуву, маса ґрунту утримується від критичного стану і боковий тиск від маси армованого ґрунту також зменшується. При збільшенні осьового напруження збільшуються напруження зсуву. Межа міцності армованого матеріалу залежить від міцності армування або від сили тертя на межі ґрунт – геосинтетичне армування.

Розрахункову міцність армуючого геосинтетика визначають формулою (2):

$$T_d = \frac{T_{\text{ном}}}{\gamma_m \times \gamma_n}, \quad (2)$$

де $T_{\text{ном}}$ – приймається рівною:

R_p – міцності на розрив, при розрахунках на короткотривалий строк служби інженерної споруди або конструкції;

R_{cr} – міцності при повзучості при розтягу (довготривала міцність), при розрахунках на довготривалий строк служби.

Якщо експериментальні дані по визначенню R_{cr} відсутні, то R_{cr} визначають за формулою (3):

$$R_{cr} = \frac{R_p}{\gamma_{cr}}, \quad (3)$$

де γ_{cr} – частковий коефіцієнт на повзучість: для поліестеру – 2,5; для поліпропілену – 5,0; для поліаміду – 2,86; для поліетилену – 5,0.

Четвертий етап – визначення геометрії розташування армуючих елементів та початкових розмірів структури. Гнучке армування забезпечує стійкість армованої маси ґрунту за рахунок перенесення напружень зсуву з активної зони в стійку. Якщо армування має достатню силу тертя з ґрунтом та власну міцність на розтяг, воно сприймає навантаження розтягу, які генеруються в активній зоні ґрунтового масиву. Напруження розтягу в армуванні у межах стійкої зони зменшуються і у випадку, коли його довжина закладення у стійкій зоні достатня, на вільному кінці довжини L_{cj} у стійкій зоні напруження розтягу дорівнюють нулю. Для забезпечення ефективної роботи геосинтетичного армування у ґрунті необхідно забезпечити ефективну його взаємодію з ґрунтом. Гнучке армування укладається в ґрунт під час будівництва, має положення близьке до горизонтального, що співпадає з напрямком напру-

жень розтягу, які виникають в ґрунті у межах активної зони. Головне для армування – сприйняття напружень без розриву, який би спровокував граничний стан руйнування, або без виникнення деформацій, які могли б призвести до відмови експлуатаційної надійності.

Перевірку правильності розподілу армуючих полотен виконують окремо для кожного i -го полотна геосинтетика за формулою (4):

$$K_{ri} = K_{ui} + \frac{T_{si} \times R_i}{M_{Di}} \geq [K_R], \quad (4)$$

де K_{ri} – фактичний коефіцієнт стійкості армованого укусу над i -м полотном;

K_{ui} – те саме неармованого укусу;

T_{si} – сумарна розрахункова міцність на розтяг полотен, що розташовані вище i -го полотна;

R_i – радіус потенційної кривої обрушення, яка проходить над i -м полотном;

M_{Di} – обертальний момент від масиву ґрунту й зовнішнього навантаження над i -м полотном.

При невиконанні умови (4) необхідно вибрати більш міцний геосинтетик або зменшити вертикальну відстань між армуючими полотнами.

Потрібну величину анкерування армуючих полотен з умови їх витягування з тіла укусу визначають за формулою (5):

$$L_{ei} \geq \frac{T_{Di} \times [K_R]}{2 \times (c_a + \sigma_{vi} \times \operatorname{tg} \delta)} = \frac{T_{Di} \times [K_R]}{2 \times \alpha \times (c + \sigma_{vi} \times \operatorname{tg} \varphi_1)}, \quad (5)$$

де L_{ei} – потрібна довжина анкерування i -го полотна (мінімальна величина L_{ei} становить 1 м); T_{Di} – розрахункова міцність на розтяг i -го полотна; c_a і c – адгезія ґрунту до геосинтетика і зчеплення (когезія) ґрунту, відповідно (при розрахунку на довготривалу стійкість армованого укусу значення c_a і c прирівнюють нулю); δ – кут тертя між ґрунтом та геосинтетиком; φ_1 – кут внутрішнього тертя ґрунту; α – коефіцієнт взаємодії ґрунту з геосинтетиком.

Нижні армуючі полотна мають заводитися за криву потенційного обрушення. Додатково збільшена довжина нижніх полотен сприяє підвищенню стійкості проти обрушення по шарах підстильної укіс основи. Загальну величину армування для кожного полотна розраховують як суму довжини анкетування і ширини зони обрушення на рівні закладання полотна.

Після визначення всіх елементів конструкції здійснюють розрахунок підпірної структури. При розрахунках армоґрунтових підпірних стін прийняті принципи граничного стану. Розглядаються дві групи граничних станів.

Перша група граничних станів – по несучій здатності та непридатності до експлуатації. Включає повну втрату стійкості або значні пошкодження. Ці стани досягаються для певного способу руйнування. Межі безпеки проти досягнення стану граничного руйнування забезпечуються через введення коефіцієнтів надійності по призначенню споруди, коефіцієнтів надійності по навантаженнях та коефіцієнтів надійності по матеріалу. Розрахунок по першій групі граничних станів передбачає виконання розрахунків по стійкості положення стіни проти зсуву по основі, проти перекидання, міцності ґрунтової основи, загальна втрата стійкості – зовнішня стійкість та внутрішня стійкість – розрив армування, витягування армування, руйнування з'єднань, руйнування фасадних панелей, обвал фасадних блоків, проковзування фасадних блоків.

Друга група граничних станів – по непридатності до нормальної експлуатації – перевірка на допустимі деформації. Стан межі експлуатаційної надійності досягну-

то, якщо деформації, які спостерігаються протягом терміну експлуатації, перевищують допустимі значення, або якщо вони перешкоджають експлуатаційній надійності структури. Метою проектування є визначення допустимих деформацій для будь-якого стану межі експлуатаційної надійності. Розрахунок по другій групі граничних станів виконують на дію нормативних навантажень, тобто коефіцієнти надійності по навантаженнях та по матеріалах, крім геосинтетичного армування, приймається рівним одиниці.

Зовнішня стійкість армогрунтової підпірної стінки розраховується аналогічно до традиційних підпірних конструкцій, а проектування внутрішньої стійкості зводиться до визначення осьових розтягувальних зусиль, які сприймаються армуванням в активній зоні та їх розподілу в стійкій зоні в межах, визначених граничним станом руйнування або визначених меж експлуатаційної надійності.

При незадовільних результатах розрахунків здійснюють коригування початкових розмірів та проводять повторні розрахунки. Для порівняння проектних варіантів армогрунтових і неармованих підпірних стін на основі критерію «ефективність – вартість» приймають до розрахунку: об'єм земляних робіт, середню висоту укосу і кут його закладання, вартість місцевого і підібраного ґрунту для засипки, вартість матеріалів для армування, можливість і вартість землевідведення, терміни виконання будівельних робіт.

Висновки. Вибір раціональних проектних рішень при конструюванні армогрунтових підпірних споруд уможливує використання ґрунтів з підвищеною вологістю, зі знизженими фізико-механічними характеристиками, спорудження високих насипів з укосами підвищеної крутизни. За рахунок використання геосинтетиків скорочуються терміни будівництва, зменшуються обсяги земляних робіт та відведення земель, стає можливою заміна дорогих армуючих сталевих елементів на відносно дешеві геоматеріали без погіршення експлуатаційних якостей. Армуючі прошарки ґрунту засипки можуть одночасно поєднувати функції регулювання напружено-деформованого стану та водно-теплового режиму ґрунтового насипу.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування.
2. ДБН В.1.2-15-2009. Навантаження і впливи. Мости та труби.
3. ВБН В.2.3-218-544:2008. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві.
4. ВСН 167-70. Технические указания по проектированию подпорных стен для транспортного строительства.
5. СНиП 2.09.03-85. Сооружения промышленных предприятий
6. ВСН 32-81. Инструкция по устройству гидроизоляции конструкций мостов и труб на железных, автомобильных и городских дорогах.
7. ГБН В.2.3-218-548:2010. Армогрунтові підпірні стінки для автомобільних доріг. Проектування та будівництво.
8. Шабалина Л. А. Искусственные сооружения. Учебное пособие. – М.: ГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2007. – 264 с.
9. Никонов И. Н. Искусственные сооружения железнодорожного транспорта. Трансжелдориздат, 1963. – 343 с.
10. Дудинцева И. Л. Механика грунтов: учеб. пособие / И. Л. Дудинцева. – М.: РГОТУПС, 2007 (М.). – 54 с. : ил.