

УДК 625.725

Р.О.Корольков

**Донецька академія автомобільного транспорту
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ НАСИПІВ
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, АРМОВАНИХ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ**

За останні роки армогрунтові конструкції із застосуванням геосинтетичних матеріалів набули широкого розповсюдження у всіх країнах світу. Забезпечення експлуатаційної надійності насипів за допомогою застосування геосинтетичних матеріалів є актуальною задачею. Як свідчить практика, існують випадки руйнування армогрунтових конструкцій. Досягти високого рівня експлуатаційної надійності армованих насипів можливо при врахуванні взаємної роботи геоматеріалу та ґрунту насипу.

Ключові слова: геосинтетичні матеріали, експлуатаційна надійність, армовані насипи, ґрунт насипу.

Рис 2. Форм 2. Літ 10.

Р.А.Корольков

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ НАСЫПЕЙ
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, АРМИРОВАННЫХ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИМИ
МАТЕРИАЛАМИ**

В последние годы армогрунтовые конструкции с использованием геосинтетических материалов нашли широкое распространение во всех странах мира. Обеспечение эксплуатационной надежности насыпей, за счет применения геосинтетических материалов, является актуальной задачей. Как свидетельствует практика, имеют место случаи разрушения армогрунтовых конструкций. Достигнуть высокого уровня эксплуатационной надежности армированных насыпей возможно при учете характера взаимной работы геоматериала и грунта насыпи.

Ключевые слова: геосинтетические материалы, эксплуатационная надежность, армированные насыпи, грунт насыпи.

R.Korolkov

**PROVIDING OF OPERATING RELIABILITY OF EMBANKMENTS OF HIGHWAYS,
REINFORCED GEOSYNTHETICAL MATERIALS**

The thesis is devoted to the design method development of the highway embankment slopes reinforced by geosynthetical materials taking into account the deflected mode change of their construction.

At the present stage one of the promising trends of the construction period reduction, structure strength provision, and built-on areas reduction is soil constructions reinforced by geosynthetical materials.

In the course of study a mathematical model of the roadbed deflected mode taking into account the changes in the construction of highway embankments is developed. New calculating dependences for the required quantity of the reinforced geosynthetical layers calculation and the length determination of the geosynthetical laying in the embankment taking into account the changes of its deflected mode are obtained.

Laboratory research of the soil interaction with geosynthetical layer is carried out. During the research the factor of the soil interaction with geosynthetical materials (geotextiles and geogrids) is obtained. At the soil slippage: for geotextile and loam is 0,75, sand – 0,90; for geogrids and loam is 0,82, sand – 0,91. At the geosynthetic pulling from the embankment body: for geotextile and loam is 0,57, sand – 0,71; for geogrids and loam is 0,73, sand – 0,81.

The design method and design procedure of the required reinforcement for embankment slopes regulation taking into account the changes of their deflected mode are developed. The technique allows to reason engineering decisions on the reinforcement of the highway embankment slopes avoiding laborious calculation on the circular cylindrical sliding surface method. This technique also allows to take into consideration the changes of forces acting on the geosynthetical layer in connection with the staging of the embankment construction.

Key words: highway, slope, geosynthetical materials, reinforcement.

Постановка проблеми. У дорожній галузі основними ґрунтовими спорудами є насипи. Першочергове значення при їх влаштуванні має стійкість таких споруд, особливо, їх укосів. На автомобільних дорогах загального користування України, найбільша кількість насипів розташована на дорогах II категорії в діапазоні висот від 6 м до 10 м. Як показує аналіз стану цих насипів, середній відсоток деформацій на них становить 31,1 %. Основний вид деформацій (понад 70 %) це деформації узбіч, розмиви і зсуви укосів насипів. Тому забезпечення стійкості укосів насипів за допомогою застосування геосинтетичних матеріалів є актуальною задачею.

Як свідчить практика, існують випадки руйнування армогрунтових конструкцій. Це пов'язано з недостатнім вивченням процесів взаємодії ґрунту насипу та армуючого прошарку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вивчення властивостей геосинтетичних матеріалів і їх взаємодії з армуючим середовищем і сьогодні є актуальною темою, незважаючи на велику кількість досліджень вчених різних країн.

©Р.О.Корольков

Останніми науковими роботами в області армування ґрунтових масивів в Україні є у 2004 році дисертації О.Ю. Усиченко і Р.К. Ковальського, у 2005 році монографія О.А. Рубана і у 2006 році дисертація А.В. Федорука.

Робота Р.К. Ковальського [4] присвячена армуванню основ споруд, тому не стосується нашої тематики. Робота О.А. Рубана [7] є досить цікавою, але питання більше присвячені стійкості насипам залізничних доріг із їх специфікою та передумовою розрахунків є деформована основа.

Усиченко О.Ю. у своїй роботі [9] розробила метод розрахунку внутрішньої стійкості підпірних конструкцій різних типів, армованих геосинтетиками. Обґрунтувала та розробила методику визначення розтягуючого зусилля в геосинтетичному армуванні при двох моделях роботи армоґрунтової підпірної стінки з урахуванням додаткового навантаження на поверхні ґрунтової засипки та методику визначення довжини закладення прошарку в нерухому частину ґрунтового масиву і довжини закладення геосинтетичних обойм.

Робота є досить змістовною, але стосується підпірних стін з врахуванням специфіки їх роботи і не враховує технологічних особливостей спорудження армованого насипу.

Однією з останніх наукових робіт, що присвячені застосуванню геосинтетичних матеріалів при армуванні укосів насипів, а також у якій зроблена спроба врахування технологічних параметрів є робота Федорука А.В. [10].

У роботі на моделях в лабораторних умовах отримані наступні залежності:

– впливу параметрів армування укосів геотекстилем Турар SF на величину навантаження, що відповідає втраті стійкості укосу;

– впливу параметрів армування укосу геотекстилем «Руно» на навантаження, що відповідає втраті стійкості укосу.

У якості технологічних факторів розглядалися: довжина заведення геоматеріалу за криву ковзання, висота армованого шару і кількість армованих шарів.

На нашу думку, виконані дослідження мають інтерес тільки для попередніх розрахунків, оскільки в одному із висновків по роботі зазначено: "Встановлено можливість збільшення показників стійкості укосів у розглянутих межах зміни технологічних параметрів:

– в 1,08-1,94 рази при зміні довжини заведення армуючого полотна за криву ковзання від 0 до 200 мм;

– в 1,005-1,92 рази при зміні вертикального кроку армування від 70 мм до 50 мм;

– в 1,08-2,06 рази при зміні кількості армованих шарів від 5 до 1" [10].

Невирішені раніше частини загальної проблеми. На теперішній час не розроблено інженерний метод, який би дозволив розраховувати армування укосів насипів автомобільних доріг з врахуванням особливості технології їх спорудження та характеру взаємодії армуючого прошарку з ґрунтом насипу, в залежності від виду геоматеріалу.

Основна частина. На сучасному етапі багато питань стійкості ґрунтових споруд прийнято вирішувати за допомогою використання армування. У міжнародній та вітчизняній практиці дорожнього і цивільного будівництва широко використовують геосинтетичні матеріали. Дані споруди, що поєднують ґрунтове середовище і армуючий елемент, можна віднести до композитних систем або ґрунтових композитів (тобто ґрунтової матриці із заданим розподілом в ній арматури (армуючих прошарків із геосинтетичного матеріалу) при якому ефективно використовуються індивідуальні властивості складових композицій).

Геосинтетик (*geosynthetic*) – загальний термін, що характеризує матеріал, хоча б один з компонентів якого виготовлений з синтетичного або натурального полімеру у вигляді полотна, смужки або тримірної структури, що використовується в контакт з ґрунтом та (або) іншими матеріалами, який використовують у геотехнічних і цивільних будівельних спорудах [8].

Поверхня ковзання поділяє насип на активну (та, що зсувається) та пасивну (стійку) зони. Аналіз механізму взаємодії геосинтетичного прошарку із ґрунтом насипу дозволив виділити основні види втрати стійкості армованих укосів насипів (рис. 1).

При вивченні характеру взаємодії армуючого прошарку з ґрунтом насипу, розглядається внутрішня втрата стійкості армованих укосів насипу:

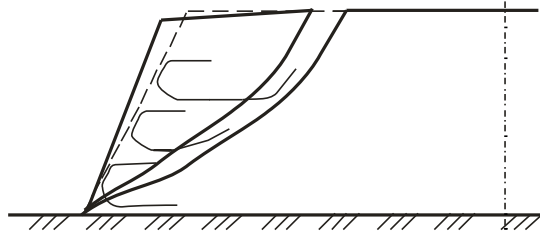
- висмикування арматури із пасивної (стійкої) зони насипу;

- розрив армуючого геосинтетичного матеріалу;
- проковзування ґрунту над (під) або між армуючими елементами в активній зоні насипу.

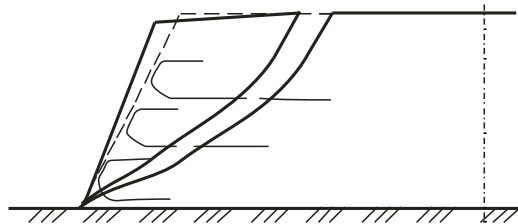
Перший вид руйнування передбачає розрахунок достатньої довжини закладання геосинтетичного прошарку в насип.

Другий вид руйнування передбачає вибір матеріалу геосинтетичного прошарку достатньої міцності (згідно із розрахунком).

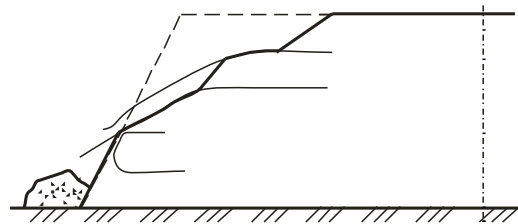
Третій вид руйнування передбачає розрахунок достатньої кількості геосинтетичних прошарків.



а) висмикування арматури із пасивної (стійкої) зони насипу



б) розрив армуючого геосинтетичного матеріалу



в) проковзування ґрунту над (під) або між армуючими елементами в активній зоні насипу

Рис. 1. Втрати внутрішньої стійкості армованих укосів насипу

Втрату стійкості армованого насипу внаслідок порушення зчеплення геосинтетичного прошарку з ґрунтом насипу складніше спрогнозувати і попередити, чим порушення стійкості споруди внаслідок недостатньої міцності армуючого геоматеріалу.

Робота армуючих прошарків у ґрунті залежить від виду ґрунту, типу армуючого матеріалу, способу спорудження конструкції. Армуюча функція геосинтетичних прошарків обумовлена їх здатністю поліпшувати умови роботи ґрунту на зсув завдяки сприйняттю ними розтягуючих зусиль, тертю прошарку об ґрунт і зміни напруженого стану в ґрунтовому масиві. Необхідною умовою успішного виконання цієї задачі є забезпечення закладення прошарку, тобто защемлення його в ґрунті. Питання про надійність закладення прошарку, величини зони, у межах якої можливе подовження і проковзування геотекстилю, є одним з основних у випадку використання геосинтетичних прошарків у конструкціях армованих укосів. З іншого боку, при проектуванні технології зведення високих насипів, армованих синтетичними матеріалами, важливе питання товщини ґрунтових шарів, що відсипаються, тому що характер деформування прошарку в ґрунті залежить від багатьох факторів, у тому числі і від вертикального навантаження, частину якого складає вага ґрунтових шарів.

Встановлено, що деформація армуючого прошарку при його розтяганні в ґрунтовому масиві відбувається в межах так названої «зони тертя», довжина якої збільшується в міру зростання прикладеного до прошарку зусилля чи розтягання висмикування, тобто збільшується робоча площа армуючого прошарку, закладеного в ґрунт.

Довжина зони тертя, як і характер деформування прошарку в ґрунті, залежить від ряду факторів, у тому числі від виду ґрунту, що оточує прошарок, вертикального навантаження.

©Р.О.Корольков

Можливість використання того чи іншого армуючого синтетичного матеріалу знаходиться в прямій залежності від його міцнісних і деформативних властивостей (модуль деформації і розривне зусилля).

При визначенні реальної довжини закладення армуючих прошарків необхідно враховувати, що міцність геосинтетика може бути вичерпана тільки при його деформації, близькій до розривної. Якщо ж ця деформація дуже велика, то насип втратить стійкість до включення в роботу армуючого прошарку, тобто в розрахунок можна приймати тільки частину розривного зусилля, що відповідає граничній деформації споруди. Найбільш невизначеною ланкою у системі "грунт – геосинтетичний матеріал" є як раз механізм взаємодії між собою ґрунту і геосинтетика. Із літературних джерел [1, 2, 3, 8] відомо, що цю взаємодію характеризують фактором (коефіцієнтом) взаємодії ґрунту із геосинтетичним матеріалом.

Автором виконані лабораторні дослідження за такими напрямками:

а) визначення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом при проковзуванні ґрунту по геосинтетику (f_{ds});

б) визначення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом при висмикуванні геосинтетика з тіла насипу (f_{ds-e}).

Дослідження проковзування ґрунту по геосинтетику було виконано базуючись на стандартний метод одноплщинного зрізу для визначення характеристик міцності і деформативності ґрунтів згідно з [5, 6], а саме, визначення кута внутрішнього тертя. Тільки у нашому випадку це буде кут тертя ґрунту по геосинтетичному прошарку. Цю характеристику визначали за результатами випробувань зразків ґрунту і геосинтетика на приладі з фіксованою площиною зрізу шляхом зсування однієї частини зразка (короб із ґрунтом) відносно іншої його частини (прошарок геосинтетичного матеріалу) дотичним навантаженням при одночасному навантажуванні зразка навантаженням, нормальним до площини зрізу (рис.2).

Опір проковзуванню визначали як граничне середнє дотичне напруження, при якому зразок ґрунту зсувається по фіксованій поверхні геосинтетика при заданому нормальному напруженні.

При дослідженні висмикування геосинтетика із ґрунту прошарок затиснений між двома шарами ґрунту з кутами внутрішнього тертя ϕ_1 і ϕ_2 . Прошарок лежить на глибині h від поверхні ґрунту з питомою вагою γ . По поверхні ґрунту рівномірно розподілене навантаження з інтенсивністю q . Геосинтетичний матеріал характеризується модулем деформації E , товщиною δ , розривним зусиллям R .

Визначали зміну висмикуючого зусилля від нормального навантаження. Для цього на дно короба укладають ґрунт шарами по 2 см з трамбуванням трамбівкою до висоти прорізу у коробі (95 мм від низу стенду), далі укладають геосинтетичний матеріал, далі шарами по 2 см з трамбуванням трамбівкою (кінцем ущільнення вважали той момент, коли не залишалось сліду на поверхні ґрунту після падіння вантажу) укладають ґрунт. Поверхню ґрунту вирівнюють і на неї укладають плиту з важками. Згідно з [6] нормальне навантаження витримували для пісків – 5 хв, для суглинків – 30 хв.

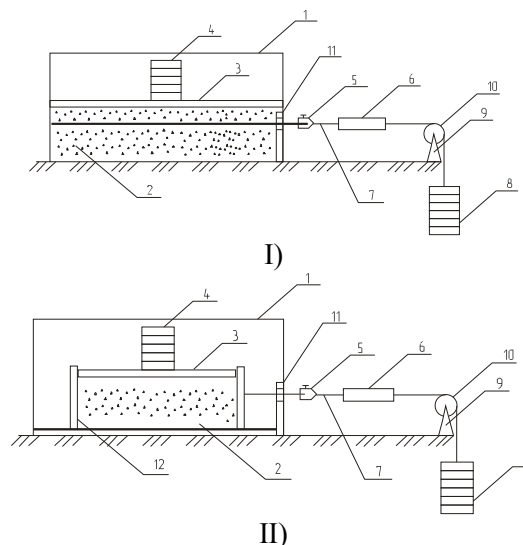


Рис. 2. Схеми визначення коефіцієнтів

I) схема визначення коефіцієнта взаємодії ґрунту з геотекстилем при висмикуванні;

II) схема визначення коефіцієнта проковзування ґрунту по геотекстилю.

1 – корпус; 2 – ґрунт; 3 – плита; 4 – важки; 5 – зчіпний пристрій; 6 – динамометр; 7 – трос; 8 – підвіска з гилями; 9 – кронштейн; 10 – шків; 11 – передня стінка з прорізом; 12 – короб з ґрунтом.

Як було зазначено, експлуатаційна надійність насипу (забезпечення внутрішньої стійкості) забезпечується достатньою довжиною закладання геосинтетичного прошарку в насип та вибір матеріалу армування достатньої міцності.

Довжину анкерування армуючого прошарку у стійкій частині насипу будемо знаходити за залежністю

$$L_{\text{анк}} \geq 1 + \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot f_{ds-e} \cdot \sigma_z^* \cdot \text{tg} \varphi}, \quad (1)$$

де T_{Di} – проектна міцність на розтяг i -го полотна;

$[K_R]$ – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укосу згідно з [1, 8] (для доріг I і II категорій – 1,5; III і IV – 1,3);

φ – кут внутрішнього тертя ґрунту;

f_{ds-e} – коефіцієнт взаємодії ґрунту з геосинтетиком при висмикуванні;

σ_z^* – напруження на рівні армуючого прошарку.

Загальне армуюче зусилля T_a , яке необхідне для забезпечення заданої внутрішньої стійкості укосу, визначають за формулою

$$T_a = \frac{\gamma \cdot H^2 \cos \theta_{\max} \cdot \sin \theta_{\max} (1 - \text{ctg} \delta \cdot \text{tg} \theta_{\max} - \text{tg} \varphi \cdot \text{ctg} \theta_{\max} + \text{tg} \varphi \cdot \text{ctg} \delta)}{2 \cdot \sin \theta_{\max} (\cos \theta_{\max} + f_{ds} \cdot \text{tg} \varphi \cdot \sin \theta_{\max})}, \quad (2)$$

де f_{ds} – коефіцієнт проковзування ґрунту насипу по геосинтетичному матеріалу;

θ – кут нахилу поверхні ковзання;

γ – вага призми обвалення.

H – висота насипу.

Висновки

На сучасному етапі одним із перспективних напрямів скорочення строків будівництва, забезпечення міцності структур, скорочення площ під спорудами є улаштування армоґрунтових конструкцій з армуванням їх геосинтетичними матеріалами. На теперішній час не розроблено інженерний метод, який би дозволив розраховувати армування укосів насипів автомобільних доріг з врахуванням особливості технології їх спорудження.

Автором виконано експериментальні дослідження взаємодії ґрунту з геосинтетичним прошарком. У ході досліджень отримано коефіцієнти взаємодії ґрунту з геосинтетичним матеріалом (геотекстилем і георгратами) при проковзуванні ґрунту по ньому: для геотекстилю і суглинку це 0,75, піску – 0,90; для георграт і суглинку це 0,82, піску – 0,91; а також при висмикуванні геосинтетика із тіла насипу: для геотекстилю і суглинку це 0,57, піску – 0,71; для георграт і суглинку це 0,73, піску – 0,81.

1. Гамеляк І.П. Про коефіцієнти запасу при проектуванні конструкцій земляного полотна з використанням геосинтетичних матеріалів / І.П. Гамеляк, І.Д. Боднар, Г.В. Журба // Автошляховик України. – 2009. – № 6. – С. 35–37.
2. Джоунс К.Д. Сооружения из армированного грунта: Пер. с англ. В.С. Забавина; Под ред. В.Г. Мельника. – М.: Стройиздат, 1989. – 280 с.
3. Заворицкий В.И. К вопросу о сцеплении армирующей прослойки из геотекстильного материала с грунтом / Заворицкий В.И., Товбыч В.Б. // Применение геотекстиля и геопластиков в дорожном строительстве. – М.: Союздорнии, 1990. – С.38-42.
4. Ковальський Р.К. Зміцнення ґрунтових основ будівель та споруд методом армування: Дис. ... канд. техн. наук 05.23.02 / ДНДІБК. – К., 2004. – 154 с.

5. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Лабораторні випробування: ДСТУ Б В. 2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96). – [Чинний від 1997-04-01]. – К.: Держбуд України, 1997. – 27 с. – (Державний стандарт України).
6. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості: ДСТУ Б В.2.1-4-96 (ГОСТ 12248-96). – [Чинний від 1997-04-01]. – К.: Держбуд України, 1997. – 102 с. – (Державний стандарт України).
7. Рубан О.А. Устойчивость слоистых грунтовых сооружений на деформируемом основании: Монография / О.А. Рубан. – Днепропетровск. ПГАСиА, 2005. – 182 с.
8. Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві: ВБН В.2.3-218-544:2008. – [Чинний від 2008-10-14]. – К.: Укравтодор, 2008. – 126 с. – (Відомчі будівельні норми України).
9. Усиченко О.Ю. Моделі та метод розрахунку армованих геосинтетиками підпірних конструкцій автомобільних доріг: Дис. ... канд. техн. наук 05.22.11 / НТУ. – К., 2004. – 175 с.
10. Федорук А.В. Вдосконалення технології армування укосів геосинтетичними матеріалами: Дис. ... канд. техн. наук 05.23.08 / ОДАБА. – Одеса, 2006. – 144 с.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2014