

ПРОЕКТУВАННЯ УКОСІВ НАСИПІВ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ АРМОВАНИХ ГЕОСИНТЕТИЧНИМИ МАТЕРІАЛАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ БІШОПА

DESIGN OF SLOPE OF ROAD EMBANKMENTS REINFORCED WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS USING THE ADVANCED BISHOP METHOD



Дахуа Ламрі, 19 місто Мохамед Бенбегуар, Сетіф, 19000, Алжир,

<https://orcid.org/0000-0002-9007-9394>

Анотація. У статті розглянуто розроблену методику проектування укосів насипів автомобільних доріг армованих геосинтетичними матеріалами з використанням розробленого автором удосконаленого методу Бішопа.

Суть удосконалення методу полягає у введенні значень змінних (c') і (ϕ') в критерій руйнування Кулона-Мора з метою врахування втоми ґрунту, параметр (F_s) для врахування впливу сейсмічних зусиль, силу (r) для врахування порового тиску від ґрунтових вод і сили (G_{eo}), яка виникає в армуючих прошарках, у багатокутник сил Бішопа, який повинен бути в рівновазі, та розрахунок цих сил і нового значення фактора безпеки (коефіцієнта стійкості) за методом Бішопа.

Ключові слова: автомобільна дорога, Бішоп, геосинтетичний матеріал, метод, стійкість, укіс.

Постановка задачі

Біля 80 % країн Західної Європи і Африки використовують спрощений метод Бішопа. Цей метод використовують для звичайних розрахунків стійкості укосів без урахування різних додаткових впливів, зокрема сейсмічного впливу. З іншого боку, на теперішній час широко застосовуються в практиці цивільного будівництва і у дорожньому будівництві сучасні полімерні, композитні матеріали. Як приклад, можна навести геосинтетичні матеріали, які використовують з різною метою, від розділяння шарів і захисту схилів до їх армування.

Метод армування шляхом включення геосинтетичного матеріалу широко використовується для вирішення проблем покращення характеристик та стійкості конструкцій. Тому для удосконалення методу Бішопа і компенсації негативного впливу сил від ґрунтових вод і сейсмічного впливу, та армування укосів запропоновано ввести в розрахункову схему сили від армування.

Суть удосконалення методу полягає у введенні значень змінних (c') і (ϕ') в критерій руйнування Кулона-Мора з метою врахування втоми ґрунту, параметр (F^s) для врахування впливу сейсмічних зусиль, силу (r) для врахування порового тиску від ґрунтових вод і сили (G_{eo}), яка виникає в армуючих прошарках, у багатокутник сил Бішопа, який повинен бути в рівновазі, та розрахунок цих сил і нового значення фактора безпеки (коефіцієнта стійкості) за методом Бішопа.

Дія ґрунтових вод на стан зсувного схилу проявляється різними шляхами, викликаючи зміну напруженого стану масиву і фізико-механічних властивостей ґрунтів, а також обумовлюючи розвиток фільтраційних деформацій. Її вплив враховано через розрахунок порового тиску і відповідний коефіцієнт порового тиску, який ще у свій час запропонували Бішоп і Моргенштерн.

Вплив від землетрусів враховували введенням додаткових сил, які діють у горизонтальному і вертикальному напрямках.

У нашому методі приймаємо припущення, що фільтраційна і сейсмічна сили є силами зсувними, тобто спрямованими паралельно основі відсіку (в запас).

Як результат, ми отримали новий інженерний метод для розрахунку стійкості укосів і схилів.

На основі розробленого методу у дисертаційній роботі розроблена методика проектування армованих геосинтетичними матеріалами укосів земляного полотна автомобільних доріг.

Основна частина

Методика розрахунку включає положення [1] та розрахункові залежності і підходи, які висвітлені у розробленому методі проектування армованих геосинтетичних матеріалів укосів насипів автомобільних доріг з використанням удосконаленого методу Бішопа [2-6].

Основні положення методики наведені нижче.

1. За методом круглоциліндричних поверхонь ковзання (Феленіуса) чи Янбу знаходимо мінімальний коефіцієнт стійкості укосу і радіус кривої ковзання для цього коефіцієнта.

Отриманий коефіцієнт підставляємо у формулу визначення коефіцієнта безпеки для удосконаленого метода Бішопа F_{Fel} .

2. Розраховуємо коефіцієнт безпеки з врахування сил від ґрунтових вод і сейсмічних сил, приймаючи зусилля в геосинтетику $G_{eo_i} = 0$:

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c'(w)_i \ell_i \cos \alpha_i + [W_i - (u_{ai} - \chi se_i) \ell_i \cos \alpha_i + F_{vert_i}^S + r_i \sin \theta_i] \operatorname{tg} \varphi'(w)_i}{(\cos \alpha_i + \operatorname{tg} \varphi'(w)_i \sin \alpha_i) / F_{Fel}} \right]}{\sum [W_i \sin \alpha_i + (F_{vert_i}^S + r_i \sin \theta_i) \sin \alpha_i + (F_{horiz_i}^S + r_i \cos \theta_i - G_{eo_i}) (\cos \alpha_i - h_i / (2R))]} \quad (1)$$

3. Розрахунок загального армуючого зусилля, яке необхідно для забезпечення заданої внутрішньої стійкості укосу.

$$T_{geo} = K_{мет} \cdot \sum [G_{eo_i} (\cos \alpha_i - h_i / (2R))] \quad (2)$$

4. Розрахунок проектної міцності армуючого геосинтетика згідно з [1]:

$$T_D = \frac{T_{ном}}{\gamma_m \cdot \gamma_n} \quad (3)$$

де $T_{ном}$ – приймається рівною або R_p – міцності на розрив, при розрахунках на короткий строк служби споруди або конструкції, або R_{cr} – міцності при повзучості при розтягуванні (довготривала міцність), при розрахунках на тривалий строк служби:

$$R_{cr} = \frac{R_p}{\gamma_{cr}} \quad (4)$$

γ_{cr} – частковий коефіцієнт на повзучість [1];

γ_m – частковий коефіцієнт запасу міцності на зсув ґрунту конструкції [1];

γ_n – частковий коефіцієнт запасу на наслідки від втрати внутрішньої стійкості конструкції [1].

5. Розрахунок потрібної кількості армуючих геосинтетичних прошарків:

$$N_{арм} = \frac{T_{geo}}{T_D} \quad (5)$$

6. Розрахунок відстані між армуючими прошарками:

$$d_{арм} = \frac{H}{N_{арм}} \quad (6)$$

де H – висота насипу, зони армування, м.

7 Встановлюємо мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укосу

$[F]$ – мінімально допустимий коефіцієнт стійкості армованого укосу;
 Тоді формула (1) набуде вигляду

$$[F] = \frac{\sum \left[\frac{c'(w)_i \ell_i \cos \alpha_i + [W_i - (u_{ai} - \chi se)_i \ell_i \cos \alpha_i + F_{vert_i}^S + r_i \sin \theta_i] \operatorname{tg} \varphi'(w)_i}{(\cos \alpha_i + (\operatorname{tg} \varphi'(w)_i \sin \alpha_i) / F_{Fei})} \right]}{\sum [W_i \sin \alpha_i + (F_{vert_i}^S + r_i \sin \theta_i) \sin \alpha_i + (F_{horiz_i}^S + r_i \cos \theta_i - Geo_i) (\cos \alpha_i - h_i / (2R))]} \quad (7)$$

7.1 Розподіляють армуючі прошарки по висоті насипу.

7.2 Розбивають насип для тієї ж кривої ковзання на блоки таким чином щоб армування проходило по середині блока і розраховуємо F .

7.3 Виконують розрахунки і перевіряють умову $F \geq [F]$.

При не виконанні умови заміняють наступний прошарок на геосинтетичний матеріал з більшою проектною міцністю на розрив.

Приймають геосинтетичний матеріал з більшою проектною міцністю на розрив, знаходять його розрахункову міцність і замінюють ним нижній прошарок армування.

8 Перевірка правильності розподілу армуючих прошарків для кожного i -го полотна геосинтетика

8.1 Визначають глибину закладення i -того прошарку:

$$h_i = n_i d_a \quad (8)$$

або конструктивно.

8.2 Розраховуємо коефіцієнт стійкості укосу на висоті закладення i -того прошарку п.1 і п.2

8.3 Виконують розрахунки згідно з п.7.2 – п.7.3

При не виконанні умови $F \geq [F]$ заміняють наступний прошарок на геосинтетичний матеріал з більшою проектною міцністю на розрив, знаходять його розрахункову міцність і замінюють ним нижній прошарок армування.

Виконують розрахунки і перевіряють умову:

$$F \geq [F]. \quad (9)$$

9. Розрахунок довжини армування:

$$L_{r1} = L_{анк\ i} + L_{di} + L_{wi}, \quad (10)$$

де L_{r1} – довжина армування, м;

$L_{анк\ i}$ – довжина анкерування, м;

L_{di} – довжина геосинтетичного прошарку, яка дорівнює ширині зони зсуву на рівні його закладення, м;

L_{wi} – довжина загортання геосинтетичного прошарку, м.

9.1 Розрахунок довжини анкерування армуючих прошарків з умови витягування з тіла укосу:

$$L_{анк\ i} \geq \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \cdot \alpha \cdot (c + \sigma_{vi} \cdot \operatorname{tg} \varphi)}, \quad (11)$$

$$L_{анк\ i} = \frac{T_{Di} \cdot [K_R]}{2 \alpha (c + \sigma_{vi} \cdot \operatorname{tg} \varphi)}, \quad (12)$$

де $L_{анк\ i}$ – необхідна довжина анкерування i -того полотна, м (мінімальна величина повинна бути не менше 1,0 м);

T_{Di} – розрахункова міцність на розтяг i -того геосинтетичного прошарку, кН/м;

α – коефіцієнт взаємодії ґрунту з геосинтетиком (для геотекстиля для глинистого ґрунту, піску, щебеню до 20 мм – 0,7; геотекстилю і щебеню понад 20 мм – 0,8; для геограток для глинистого ґрунту – 0,8; піску – 0,9; щебеню до 20 мм – 0,95; щебеню понад 20 мм – 1,0 [1]);

c – зчеплення ґрунту (при розрахунку на довготривалу стійкість армованого укосу значення c прирівнюють нулю);

σ_{vi} – ефективний вертикальний тиск на рівні i -того геосинтетичного прошарку, кН/м².

$$\sigma_{vi} = \sigma_q + \gamma_{ci}H_{ci} + \gamma_{bi}H_{bi} - \gamma_w H_{PГВi}, \quad (13)$$

де σ_q – тиск від зовнішнього навантаження, кН/м²;

γ_{ci} , γ_{bi} і γ_w – питома вага ґрунту над зоною капілярного підняття, у межах висоти капілярного підняття (ВКП) та питома вага води, відповідно, кН/м³;

H_{ci} , $H_{ВКПi}$ і $H_{PГВi}$ – потужність шару ґрунту над, в межах ВКП і в межах рівня ґрунтових вод (PГВ), відповідно, м.

9.2 Розрахунок довжини геосинтетичного прошарку, яка дорівнює ширині зони зсуву на рівні його закладення

Розрахункова схема наведена на рис. 1.

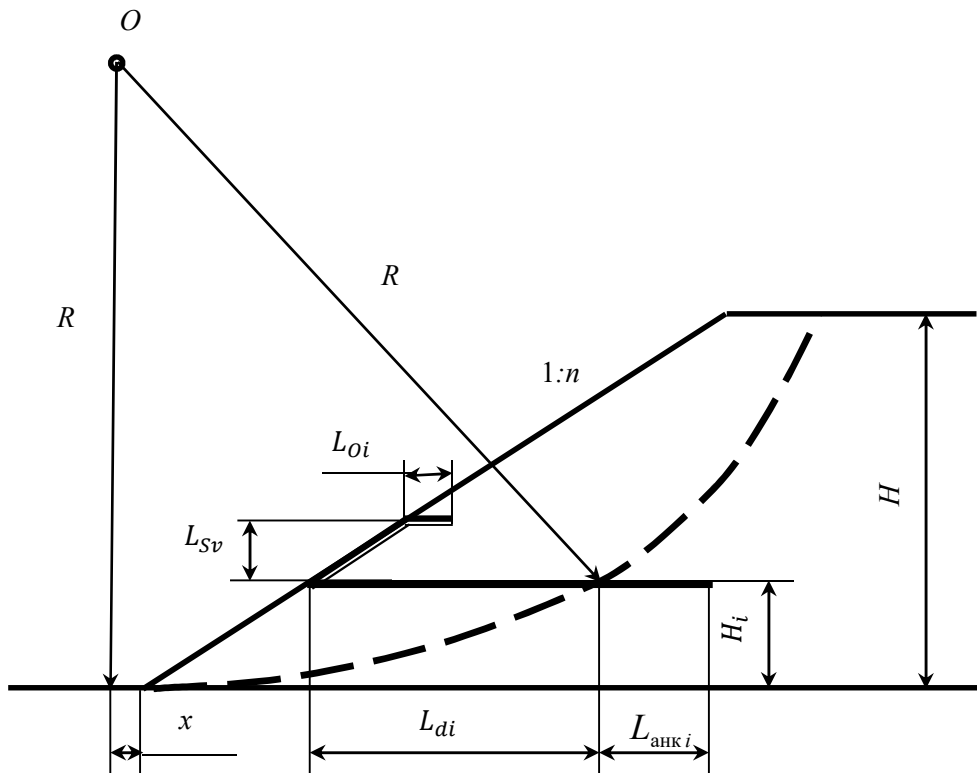


Рисунок 1 – Розрахункова схема
 Figure 1 – Calculation scheme

$$R^2 = (R - H_i)^2 + (x + n H_i + L_{di})^2, \quad (14)$$

де R – радіус кривої ковзання, м;

H – висота насипу, м;

H_i – висота закладення геосинтетичного прошарку, м;

x – відстань від центра кривої ковзання до підоснови насипу (може також мати від’ємне значення), м;

n – величина закладання укосу.

$$\sqrt{R^2 - (R - H_i)^2} = x + n H_i + L_{di},$$

$$L_{di} = \sqrt{R^2 - (R - H_i)^2} - x - n H_i. \quad (15)$$

9.3 Розрахунок довжини загортання геосинтетичного прошарку
 Розрахункова схема наведена на рис. 1.

$$L_{wi} = L_{sv} + L_{oi}, \quad (16)$$

де L_{sv} – довжина прошарку, яка дорівнює товщині шару ґрунту, на який передбачається загортання геосинтетичного прошарку, як правило, це відстань між армуючими прошарками, м;

L_{oi} – довжина прошарку верхньої частини обойми (загортання), м.

$$L_{oi} = \frac{F_{ai} \cdot [K_R]}{2 \alpha (c_1 + \sigma_{vio} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1)}, \quad (17)$$

де F_{ai} – активний тиск ґрунту в межах i -ої обойми, кН/м;
 σ_{vio} – вертикальний тиск на рівні i -ої обойми, кН/м².

Активний тиск ґрунту в межах i -ої обойми:

$$F_{ai} = L_{sv} \cdot \left[\sigma_{qi} + \gamma_1 \left(H - H_i + \frac{L_{sv}}{2} \right) \right] \cdot \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_1}{2} \right), \quad (18)$$

де σ_{qi} – вертикальний тиск від зовнішнього навантаження на рівні $H - H_i + \frac{L_{sv}}{2}$, кН/м².

$$\sigma_{qi} = \frac{q_G \cdot b}{B_{io}}. \quad (19)$$

$$B_{io} = B + 2 \cdot n \cdot \left(H - H_i + \frac{L_{sv}}{2} \right). \quad (20)$$

10. Розрахунок зовнішньої стійкості армованого укусу

Для забезпечення стійкості армованого укусу проти ковзання по основі повинна виконуватися умова:

$$(W - P_a \cdot \sin \varphi_b) \cdot \operatorname{tg} \varphi_{min} \geq [K_R] \cdot P_a \cdot \cos \varphi_b, \quad (21)$$

де

$$W = 0,5 \cdot L^2 \cdot \gamma_r \cdot \operatorname{tg} \beta \quad \text{при } L \leq H, \quad (22)$$

$$W = \left(L \cdot H - \frac{H^2}{2 \cdot \operatorname{tg} \beta} \right) \cdot \gamma_r \quad \text{при } L > H, \quad (23)$$

$$P_a = 0,5 \cdot \gamma_b \cdot H^2 \cdot K_a, \quad (24)$$

де P_a – активний тиск ґрунту, кН/м;

φ_b – нормативне значення кута внутрішнього тертя ґрунту поза армованою частиною, град.;

φ_{min} – мінімальний кут внутрішнього тертя (між ґрунтом і геосинтетиком чи в ґрунті основи), град.;

L – довжина геосинтетичного полотна первинного армування в основі укусу і на всіх рівнях, де змінюється довжина армування, м;

γ_r – питома вага ґрунту в частині армування, кН/м³;

β – кут закладання укусу, град.;

H – висота, м;

γ_b – вага ґрунту в частині утримування, кН/м³;

K_a – коефіцієнт активного бічного тиску;

$$K_a = \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_b}{2} \right). \quad (25)$$

11. Визначають розрахункову міцність геосинтетичних матеріалів

$$T_D = T_r, \quad (26)$$

де T_r – розрахункове зусилля в геосинтетичному матеріалі, кН/м.

Величину розрахункового зусилля первинного армування укосу, T_r , приймають як найбільше значення з розрахунків на внутрішню, зовнішню і комбіновану стійкість.

12. Розраховують номінальну міцність армуючого геосинтетика, кН/м

$$T_{\text{ном}} \geq T_D \gamma_m \gamma_n. \quad (27)$$

Висновок

Розроблена методика проектування армованих геосинтетичними матеріалами укосів земляного полотна автомобільних доріг за удосконаленим методом Бішопа, яка дозволяє робити інженерні розрахунки стійкості укосів земляного полотна автомобільних доріг та схилів.

На відміну від відомих методик, за розробленою і наведеною методикою можна проектувати армування, як для звичайних умов, так і для умов сейсмічності ділянки де проходить дорога та наявності в укосі ґрунтових вод (якщо це виїмка чи природний схил).

Перелік посилань

1. ГБН В.2.3-37641918-544:2014. Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги.
2. Савенко, В. Я., Дахуа, Л. Определение наиболее эффективного метода расчета устойчивости откосов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2017. Вип. 101. – С. 116-127.
3. Савенко, В. Я., Хаджі, Р., Дахуа, Л. Исследование устойчивости откосов методами предельного равновесия и конечных элементов // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2017. Вип. 100. – С. 284-295.
4. Савенко, В.Я., Хаджі, Р., Дахуа, Л. Обоснование методов определения грунтово-геологических характеристик откосов сооружений // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2016. – Вип. 97. – С. 196-206.
5. Dahoua, L., Usychenko, O., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach for estimating the stability of geotextile-reinforced embankments during an earthquake // Mining Science. – 2018. – Iss. 25. P. 207-217.
6. Dahoua, L., Savenko, V., Ossitchenko, E., Hadji, H. (2019). Approche mathématique sur la méthode de BISHOP - rôle des géosynthétiques dans la stabilisation du talus du PK (240+847) de l'autoroute A1 (N-E Algérie) mathematical approach on the BISHOP method, role of geosynthetics in slope stabilization, of PK (240 + 847)/A1 highway // ALGÉRIE ÉQUIPEMENT. – 2019. – Iss. 60. – P. 06-12.

DESIGN OF SLOPE OF ROAD EMBANKMENTS REINFORCED WITH GEOSYNTHETIC MATERIALS USING THE ADVANCED BISHOP METHOD

Dahua Lamri, 19 city Mohamed Benbeguag, Setif, 19000, Algeria

<https://orcid.org/0000-0002-9007-9394>

Abstract. The article considers the developed method of designing the slopes of road embankments reinforced with geosynthetic materials using the improved method of Bishop developed by the author. The essence of improving the method is to introduce the values of variables (c') and (ϕ') in the criterion of Coulomb-Moore destruction to take into account soil fatigue, parameter (F_s) to take into account the effects of seismic forces, force (r) to take into account pore pressure from groundwater and the force (G_{Geo}), which arises in the reinforcing layers, in the polygon of Bishop's forces, which must be in equilibrium, and the calculation of these forces and the new value of the safety factor (coefficient of stability) by the method of Bishop.

Key words: highway, Bishop, geosynthetic material, method, stability, slope.

References

1. HBN V.2.3-37641918-544:2014. Avtomobilni dorohy. Zastosuvannia heosyntetychnykh materialiv u dorozhnikh konstruktssiakh. Osnovni vymohy.
2. Savenko, V. Ya, Dakhua, L. Opredelenye naybolee effektivnoho metoda rascheta ustoichyvosty otkosov // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. – 2017. Vyp. 101. – S. 116-127.
3. Savenko, V. Ya., Khadzhi, R., Dakhua, L. Yssledovanye ustoichyvosty otkosov metodamy predelnoho ravnovesyia y konechnykh elementov // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. – 2017. Vyp. 100. – S. 284-295.
4. Savenko, V.Ia., Khadzhy, R., Dakhua, L. Obosnovanye metodov opredelenyia hruntovo-heolohycheskykh kharakterystyk otkosov sooruzheniy // Avtomobilni dorohy i dorozhnie budivnytstvo. – 2016. – Vyp. 97. – S. 196-206.
5. Dahoua, L., Usychenko, O., Savenko, V., Hadji, R. Mathematical approach for estimating the stability of geotextile-reinforced embankments during an earthquake // Mining Science. – 2018. – Iss. 25. P. 207-217.
6. Dahoua, L., Savenko, V., Ossitchenko, E., Hadji, H. (2019). Approche mathématique sur la méthode de BISHOP - rôle des géosynthétiques dans la stabilisation du talus du PK (240+847) de l'autoroute A1 (N-E Algérie) mathematical approach on the BISHOP method, role of geosynthetics in slope stabilization, of PK (240 + 847)/A1 highway // ALGÉRIE ÉQUIPEMENT. – 2019. – Iss. 60. – P. 06-12.