

Получена: 15.09.2017 г.

Приета: 22.12.2017 г.

УКРЕПВАНЕ НА СТЪРМНИ ОТКОСИ С ГЕОМРЕЖИ

Б. Братоев¹, И. Дойков²

Ключови думи: геомрежи, укрепване, откоси, геосинтетика

РЕЗЮМЕ

Използването на геосинтетични материали в инфраструктурното, промишленото и гражданското строителство е широко разпространено в световен мащаб. Голяма част от предлаганите на пазара геомрежи могат да бъдат ефективно използвани за укрепване на стръмни откоси. Подходящият избор на геомрежи и правилното им приложение и закотвяне е от изключителна важност за осигуряване на местната устойчивост на наклонени терени. Настоящата статия дава поглед върху използваните в практиката геомрежи и възможностите за тяхното оразмеряване и закотвяне, при укрепване на откоси. Очертани са алтернативни подходи за укрепване на стръмни откоси, чрез използване на други геосинтетични материали.

1. Видове геомрежи, приложими за укрепване на стръмни откоси и механизъм на действие

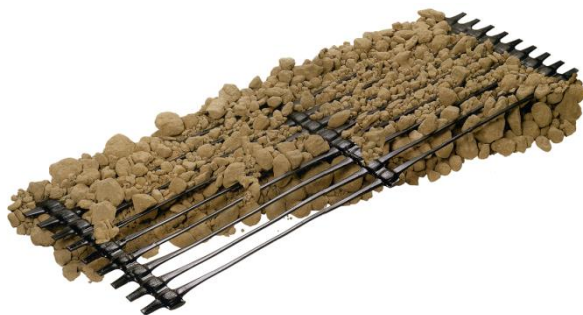
Геомрежите са геосинтетичен материал, при който напречни и надлъжни ребра се пресичат най-често под прав ъгъл, оформяйки квадратни или правоъгълни отвори с различна големина. Геомрежите се произвеждат основно от четири полимера – полиетилен висока плътност, полипропилен, полиестер или поливинил алкохол. В зависимост от технологията на производство се различават екструдирани, тъкани и термично споени геомрежи. Според якостта си на опън при скъсване геомрежите се делят на моноориентирани (моноаксиални) – с доминираща якост в едното направление и биориен-

¹ Бранимир Братоев, д-р инж., e-mail: banimir.bratoev@yahoo.com

² Иван Дойков, доц. д-р инж., кат. „Строителни материали и изолации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: doykoff@abv.bg

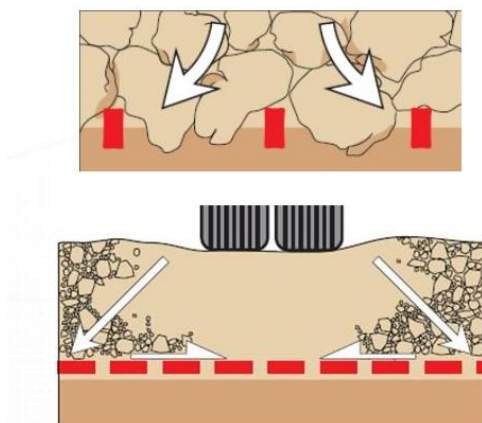
тирани (биаксиални) – с еквивалентна якост надлъжно и напречно на посоката на производство. Технологиите на производство и изходният полимер са основните характеристики, от които зависят редуционните коефициенти, които от своя страна определят дългосрочната якост на опън на геомрежите. За укрепване на стръмни откоси най-често се използват моноориентирани геомрежи, като вида на полимера, от който са произведени, следва да бъде така подбран, че да бъде устойчив на въздействието на насипния материал.

Геомрежите работят чрез закливане с материала, с който са засипани. Отворите на геомрежата позволяват на насипния материал да премине през тях, след което той се заклива между отделни ребра. Благодарение на твърдостта и якостта на ребрата на геомрежата насипният материал над геомрежата остава над нея и не преминава надолу [4]. От тази гледна точка е от изключително важно значение да бъде направен уместен подбор на отворите на геомрежата спрямо зърнометрията на насипния материал. Това е от особено важно значение в случаите, когато геомрежата е положена в хоризонтално или близко до това положение.



Фиг. 1. Закливане на насипния материал с геомрежата

За разлика от насипния материал геомрежите имат голяма якост на опън. Това им позволява да предадат напреженията, предизвикани от постоянни и временни товари на по-голяма площ, отколкото без наличието на геомрежа. Същевременно при добро закливане на насипния материал в геомрежата тя може да осигури устойчивост срещу приплъзване на покриващия пласт при стръмни откоси.



Фиг. 2. Механизъм на поемане на опънните напрежения от страна на геомрежата

2. Цел и обхват на изследването

Много често в практиката се налага да бъдат изградени откоси, по-стръмни от тези, които характеристиките на почвите и насипните материали позволяват. Подобни задачи могат да възникнат при изграждане на долен и горен изолационен екран на депа за отпадъци и хвостохранилища, изграждане на пътища и железопътни линии в дълбоки изкопи, укрепване на брегови ивици. Това решение носи със себе си редица предимства – намалява нуждата от отчуждаване на земя, свързана с изграждане на съответното съоръжение, позволява използването на местна почва за изграждане на откосите и намалява разходите за изграждане на съответното съоръжение.

Едно от възможните решения е свързано с използване на геомрежа в зоната на повърхнината, при която се очаква да настъпи приплъзване между отделните почвени пластове и съответно свличане. Геомрежата следва да бъде оразмерена по начин, който гарантира, че ще поеме усилията, които възникват в нея както от собственото тегло на насипа, положен върху нея, така и от временните натоварвания, свързани със строителна механизация, полезни товари, сняг и др. Същевременно адекватното закотвяне на геомрежата на билото на откоса е от съществено значение, за да бъде предотвратено нейното свличане.

3. Методика за оразмеряване на необходимата якост на опън при скъсване на геомрежите и вида на закотвяне

3.1. Определяне на необходимата якост на опън при скъсване на геомрежата

Откоси, покрити с насипен материал, следва да бъдат оразмерени срещу приплъзване на завършващия пласт. Поради ниската якост на срязване на покриващия пласт е възможно да възникне свличане вследствие на гравитационни сили, временни товари, претоварване, овлажняване на откоса и/или сеизмични сили. Съгласно Koerner и Soong [2] откосът може да бъде разделен на две зони – активен клин, който се откъсва от върха на откоса и една по-малка зона в петата му (пасивен клин), който се противопоставя на свличането на активния клин. Адхезия между покриващия пласт и основата и/или тъгля на триене между покриващия пласт и основата са основните фактори, които се противопоставят на свличането на откоса, в случаите, когато той не е усилен с геомрежа или друг геосинтетичен материал. В така предложената постановка се предполага, че пасивният клин се противопоставя на свличането чрез кохезията в покриващия пласт и триенето на пасивния клин при приплъзване по повърхността на материала, положен в петата на откоса.

Въздействия в пасивния клин могат да бъдат изразени по следния начин:

$$W_a = \gamma \cdot h^2 \left(\frac{L}{h} - \frac{1}{\tan \beta} - \frac{\tan \beta}{2} \right), \quad (1)$$

$$W = W + S + Q, \quad (2)$$

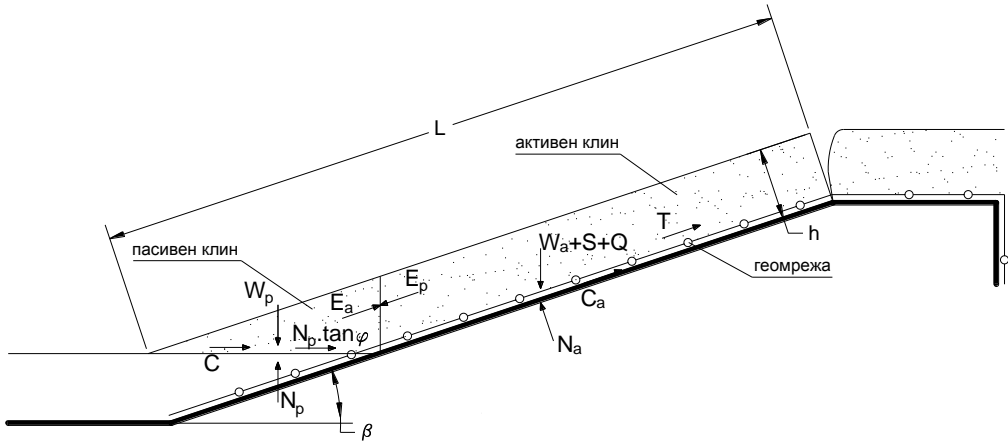
$$N_a = W \cdot \cos \beta, \quad (3)$$

$$C_a = c_a \left(L - \frac{h}{\tan \beta} \right). \quad (4)$$

Изравнявайки въздействия във вертикално направление, получаваме:

$$E_a \cdot \sin \beta = W - N_a \cdot \cos \beta - \left(\frac{N_a \cdot \tan \delta + C_a}{FS} + T \right) \sin \beta, \quad (5)$$

$$E_a = \frac{FS \cdot (W - N_a \cdot \cos \beta - T \cdot \sin \beta) - (N_a \cdot \tan \delta + C_a) \sin \beta}{\sin \beta \cdot FS}. \quad (6)$$



Фиг. 3. Въздействия, възникващи в откоси, усилены с геомрежа

За пасивния клин могат да бъдат проведени аналогични изчисления:

$$W_p = \frac{\gamma \cdot h^2}{\sin 2\beta}, \quad (7)$$

$$N_p = W_p + E_p \cdot \sin \beta, \quad (8)$$

$$C = \frac{c \cdot h}{\sin \beta}. \quad (9)$$

Изравнявайки въздействия в хоризонтално направление получаваме:

$$E_p \cdot \cos \beta = C + N_p \cdot \tan \varphi, \quad (10)$$

$$E_p = \frac{C + W_p \cdot \tan \varphi}{FS \cdot \cos \beta - \sin \beta \cdot \tan \varphi}. \quad (11)$$

Тъй като E_a и E_p са еквивалентни:

$$E_a = E_p, \quad (12)$$

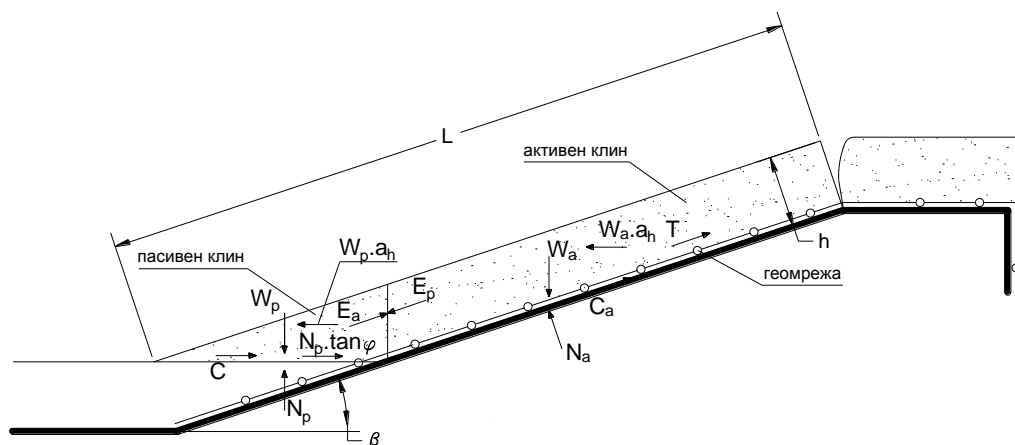
$$a.(FS)^2 + b.(FS) + c = 0, \quad (13)$$

$$a = (W_a - N_a \cdot \cos \beta - T \cdot \sin \beta) \cdot \cos \beta, \quad (14)$$

$$b = -\left((W_a - N_a \cdot \cos \beta - T \cdot \sin \beta) \cdot \sin \beta \cdot \tan \varphi + (N_a \cdot \tan \delta + C_a) \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta + \sin \beta \cdot (C + W_p \cdot \tan \varphi) \right) \quad (15)$$

$$c = (N_a \cdot \tan \delta + C_a) \cdot \sin^2 \beta \cdot \tan \varphi. \quad (16)$$

В случаите, когато укрепваният откос се намира в сеизмична зона, следва да бъдат отчетени сеизмичните сили в активния и пасивния клин. Това може да стане чрез установяване на коефициента на хоризонтално сеизмично въздействие за конкретната сеизмична зона a_h .



Фиг. 4. Въздействия, възникващи в откоси, усиени с геомрежа при наличие на сеизмични въздействия

В този случай не следва да се отчитат временни товари и a , b и c придобиват следния вид:

$$a = (a_h \cdot W_a + N_a \cdot \sin \beta - T \cdot \cos \beta) \cdot \cos \beta + a_h \cdot W_p \cdot \cos \beta, \quad (17)$$

$$b = -\left((a_h \cdot W_a - N_a \cdot \sin \beta - T \cdot \sin \beta) \cdot \sin \beta \cdot \tan \varphi + (N_a \cdot \tan \delta + C_a) \cdot \cos^2 \beta + (C + W_p \cdot \tan \varphi) \cdot \cos \beta \right), \quad (18)$$

$$c = (N_a \cdot \tan \delta + C_a) \cdot \cos \beta \cdot \sin \beta \cdot \tan \varphi. \quad (19)$$

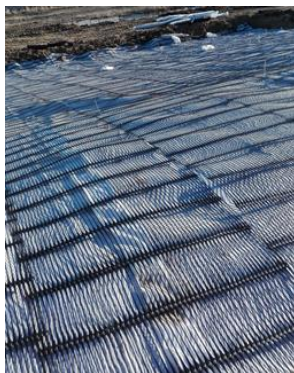
Коефициентът за сигурност за съответния откос може да бъде определен както следва:

$$FS = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4c_a \cdot c}}{2a}, \quad (20)$$

където W_a е общо тегло на активния клин,

W_p – общо тегло на пасивния клин,
 N_a – нормална сила за активния клин, перпендикулярна на равнината на разрушение,
 N_p – нормална сила за пасивния клин, перпендикулярна на равнината на разрушение,
 S – въздействие вследствие на снежна покривка за откоса,
 Q – въздействие вследствие на временни товари по откоса от механизация, работна ръка и оборудване,
 γ – обемно тегло на покриващия пласт,
 h – дебелина на покриващия пласт,
 L – дължина на откоса,
 β – ъгъл на откоса,
 φ – ъгъл на вътрешно на триене покриващия пласт,
 δ – ъгъл на триене между покриващия пласт и основата,
 c_a – адхезия между покриващия пласт и основата,
 C_a – въздействие вследствие на адхезията между активния клин и основата,
 c – кохезия на покриващия пласт,
 C – въздействие вследствие на кохезията на покриващия пласт в зоната на разрушение на пасивния клин,
 E_a – вътрешно въздействие, действащо на активния клин,
 E_p – вътрешно въздействие, действащо на пасивния клин,
 T – дългосрочна якост на опън на геомрежите, с отчитане на редукионните коефициенти,
 a_h – коефициент на хоризонтално сеизмично въздействие,
 FS – коефициент на сигурност за плъзгане на покриващия пласт спрямо основата [2], [3].

В случай че коефициентът на сигурност е по-голям от 1,0, може да се счита че откосът ще остане стабилен. При FS , по-малък от 1,0, се налага използването на усилящ геосинтетичен материал, ако не е използван в изчисленията до този момент или използването на такъв с по-голяма дълготрайна якост на опън.



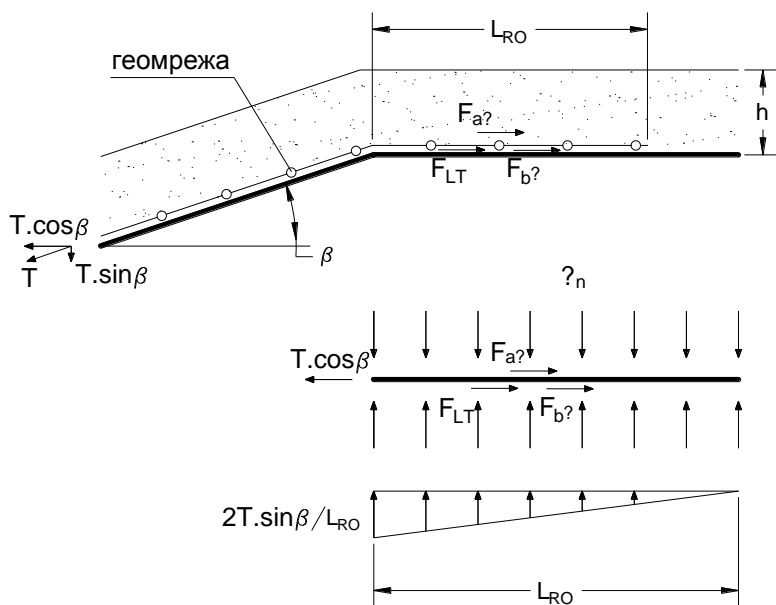
Фиг. 5. Откос при рекултивация на сметище, който предстои да бъде засипан, усилен с моноориентирана геомрежа от полиетилен висока плътност, положена върху дренажен геокмпозит

3.2. Определяне на вида на закотвяне

Установяването на подходящ вид на закотвяне на геомрежата е от важно значение за постигане на устойчивост на насипания откос. Основно се срещат два типа анкериране на геомрежата – без анкерираща канавка и с анкериращата канавка.

3.2.1. Закотвяне без анкерираща канавка

Много често не е необходимо изкопаване на анкериращата канавка за геосинтетичния материал, което води до по-малки разходи. Въпреки това съответните изчисления следва да бъдат проведени, с оглед доказване на гореизложеното. В този случай коефициентът на сигурност е отчетен при геомрежата, тъй като при изчисленията се използва нейната якост на опън при скъсване без отчитане на редуционните коефициенти за материала. Същият подход е приет и в случая, когато геомрежата се закотвя в анкерираща канавка.



Фиг. 6. Въздействия и напрежения, възникващи при анкериране на геомрежа без закотвяща канавка

Покриващият пласт на бермата при върха на откоса упражнява натиск върху геомрежата:

$$\sigma_n = \gamma \cdot h . \quad (21)$$

След приравняване на въздействащата, действателна в хоризонтално направление, се получава:

$$T' \cdot \cos \beta = F_{a\sigma} + F_{b\sigma} + F_{LT} , \quad (22)$$

$$F_{a\sigma} = \alpha \cdot \sigma_n \cdot L_{RO} \cdot C_{fa} \cdot C , \quad (23)$$

$$F_{b\sigma} = \alpha \cdot \sigma_n \cdot L_{RO} \cdot C_{fb} \cdot C, \quad (24)$$

$$F_{LT} = 0,5 \cdot \alpha \cdot \left(\frac{2 \cdot T' \cdot \sin \beta}{L_{RO}} \right) \cdot L_{RO} \cdot C_{fb} \cdot C = \alpha \cdot T' \cdot \sin \beta \cdot L_{RO} \cdot C_{fb} \cdot C. \quad (25)$$

Следователно необходимата минимална дължина на закотвяне на геомрежата е:

$$L_{RO} = \frac{T' (\cos \beta - \alpha \cdot \sin \beta \cdot C_{fb} \cdot C)}{\alpha \cdot \sigma_n \cdot C \cdot (C_{fa} + C_{fb})}, \quad (26)$$

където σ_n е нормално напрежение върху геомрежата от покриващия пласт,

$F_{a\sigma}$ – въздействие над геомрежата вследствие на взаимодействието между геомрежата и покриващия пласт,

$F_{b\sigma}$ – въздействие под геомрежата вследствие на взаимодействието между геомрежата и основата, върху която е положена,

F_{LT} – въздействие под геомрежата вследствие на действието на вертикалната компонента на T' ,

L_{RO} – необходима дължина на закотвяне,

C_{fa} – коефициент на съпротивление на изтръгване над геомрежата. Приема се за равен на 0, тъй като покриващият пласт не допринася срещу изтръгване на геомрежата, поради факта че се движи заедно с нея, което води несъмнено до деформации и пукнатини,

C_{fb} – коефициент на съпротивление на изтръгване под геомрежата. Приема се за равен на $2/3 \cdot \tan \varphi$, в случаите когато геомрежата е в контакт със земна основа, където φ е ъгълът на вътрешно триене на земната основа,

C – ефективна ширина на действие за геомрежа, равна на 1,0, тъй като изчисленията се провеждат за един линеен метър широчина от откоса,

α – корекционен коефициент, равен на 0,8 за геомрежи,

T' – якост на опън на геомрежата без отчитане на редукиционни коефициент и [1], [3], [5].

3.2.2. Закотвяне с анкерраща канавка

В случаите когато необходимата дължина на закотвяне на геомрежата е прекалено голяма или няма достатъчно място за това, се препоръчва използване на анкерраща канавка. Тогава върху частта от геосинтетичния материал, намиращ се в анкерращата канавка, действат хоризонтални сили – активният земен натиск, който съдейства за изтръгване на геомрежата от канавката и пасивният земен натиск, който задържа материала.

Приравнявайки въздействията, действащи в хоризонтално направление, и съгласно фиг. 7, се получава уравнение с две неизвестни – дължината на закотвяне L_{RO} и дълбочината на анкерращата канавка h_t :

$$T' \cdot \cos \beta = F_{a\sigma} + F_{b\sigma} + F_{LT} - P_a + P_p, \quad (27)$$

$$P_a = 0,5 \cdot (\gamma_t \cdot h_t) \cdot K_a \cdot h_t + \sigma_n \cdot K_a \cdot h_t = (0,5 \cdot \gamma_t \cdot h_t + \sigma_n) K_a \cdot h_t, \quad (28)$$

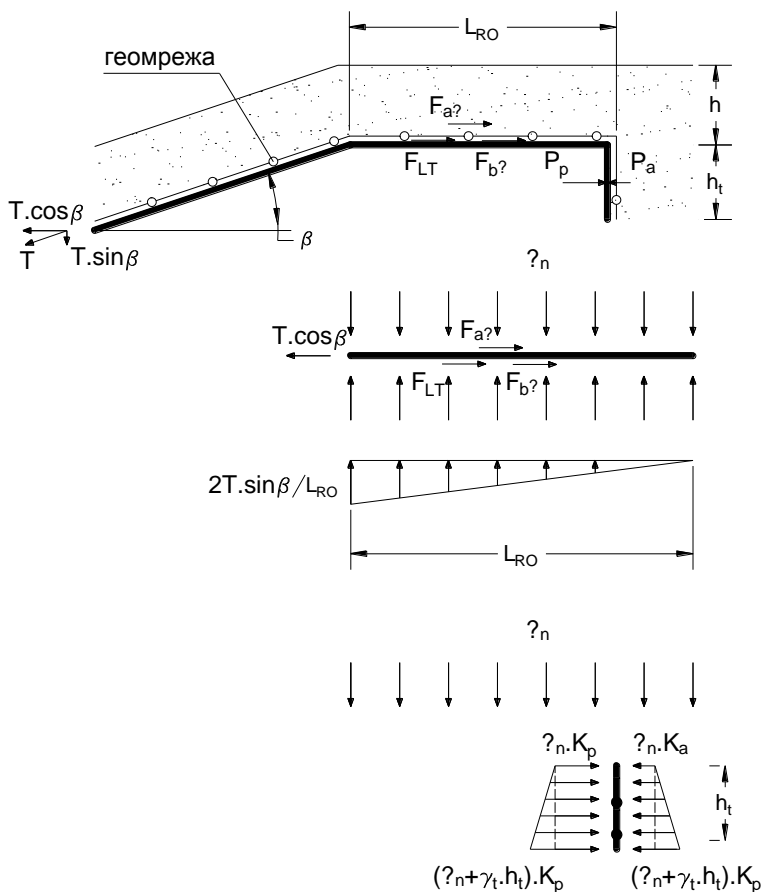
$$P_p = 0,5 \cdot (\gamma_t \cdot h_t) \cdot K_p \cdot h_t + \sigma_n \cdot K_p \cdot h_t = (0,5 \cdot \gamma_t \cdot h_t + \sigma_n) K_p \cdot h_t, \quad (29)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi_t}{2} \right), \quad (30)$$

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi_t}{2} \right). \quad (31)$$

Следователно, необходимата минимална дължина на закотвяне на геомрежата при зададена дълбочина на анкерращата канавка е:

$$L_{RO} = \frac{T' \left(\cos \beta - \alpha \cdot \sin \beta \cdot C_{fb} \cdot C \right) + (0,5 \cdot \gamma_t \cdot h_t + \sigma_n) \cdot (K_a - K_p) \cdot h_t}{\alpha \cdot \sigma_n \cdot C \cdot (C_{fa} + C_{fb})}. \quad (32)$$



Фиг. 7. Въздействия и напрежения, възникващи при анкерране на геомрежа със закотвяща канавка

В случай че се избере дължината на закотвяне и е необходимо да се установи минималната дълбочина на анкериращата на канавка, следва да се реши квадратно уравнение спрямо h_t на база уравнение 32, където

P_a – въздействие от активен земен натиск в анкериращата канавка,

P_p – въздействие от пасивен земен натиск в анкериращата канавка,

K_a – коефициент на активен земен натиск в анкериращата канавка,

K_p – коефициент на пасивен земен натиск в анкериращата канавка,

h_t – дълбочина на анкериращата канавка,

γ_t – обемно тегло на материала в анкериращата канавка,

ϕ_t – ъгъл на вътрешно триене на материала в анкериращата канавка [1], [3], [5].

4. Други възможни решения за укрепване на стръмни откоси с геосинтетични материали

Друг възможен подход за усилване на стръмни откоси е използването на геоклетъчна система или усилващи геокомпозити, състоящи се от материал за ерозионен контрол и геомрежа или нетъкани иглонабити геотекстили с фабрично вградени джобове за задържане на покриващия пласт. Геоклетките са геосинтетичен материал, произведени от заварени помежду си полимерни ленти, които, разпънати, оформят отвори, които могат да бъдат напълнени с покриващия пласт. Този метод позволява наклонът на откоса значително да превишава ъгъла на вътрешно триене на покриващия пласт. Следва да се отбележи, че този метод има две сериозни ограничения. Първото е свързано с факта, че най-често геоклетките се произвеждат с дебелина до 30 cm, което от своя страна ограничава дебелина на покриващия пласт. Другият недостатък е свързан с това, че геоклетъчната система следва да бъде анкерирана със стоманени Г-образни анкери през определено разстояние в самия откос, което не се допуска при наличие на хидро-изолационен екран. Въпреки това в тези случаи е възможно анкерирането на геоклетките да стане във върха на откоса чрез въжета и специални устройства, които предават напреженията от геоклетката към въжетата.

Усилващите геокомпозитни материали са така проектирани, че се постига значително по-добър коефициент на триене с покриващия пласт спрямо този при геомрежите. В този случай вероятността за приплъзване на покриващия пласт спрямо усилващия геокомпозит е незначителна. Същевременно якостните параметри на усилващите геокомпозити не отстъпват на наличните на пазара геомрежи. При оразмеряването и анкерирането на геокомпозитите за усилване на стръмни откоси може да се използва методиката, изложена за геомрежите.

5. Заключение

Усилването на наклонени терени с геомрежи е често срещан и ефективен подход. Полагането на геомрежите е бърз и икономичен строителен процес, който практически не зависи от метеорологичните условия. В допълнение, методите за анкериране на материала не налагат използването на допълнителните анкериращи устройства и приспособления в зоната на откоса, които много често са неприложими, особено в случаите

когато има изолационен екран под геомрежата. Предложената методика дава възможност за оразмеряване на необходимата дълготрайна якост на опън на геомрежите и определяне на вида и параметрите на анкериране на материала във върха на откоса.

Въпреки това методът има ограничения, свързани с възможността да бъдат изграждани откоси до ъгли, непревишаващи естествения ъгъл на вътрешно триене на покриващия материал с подходящ коефициент на сигурност, т.е. решението е ограничено до определен ъгъл на терена. Не трябва да се пренебрегва фактът, че следва да се подбере геомрежа и покриващ пласт, които да имат добър коефициент на триене един спрямо друг. Последното е от изключителна важност и основна предпоставка при така изложената по-горе постановка за оразмеряване на геомрежите и анкерирането им.

ЛИТЕРАТУРА

1. FHWA-NHI-00-043-Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction. 2001.
2. Koerner, R., M., Soong. Analysis and design of veneer cover soils. Proceeding of the 6th IGS conference, 1998. 1-26.
3. Koerner, R. M. Designing with Geosynthetics. 2005.
4. Secugrid – geogrid introduction. s.l.: NAUE GmbH & Co, 2012.
5. Илов, Г. 2012. Ръководство по геотехника. 2012.

VENEER SLOPE REINFORCEMENT WITH GEOGRIDS

B. Bratov¹, I. Doykov²

Keywords: geogrids, reinforcement, defects, veneer, slopes, geosynthetics

ABSTRACT

The use of geosynthetic materials in infrastructure, industrial and civil engineering is widespread worldwide. Most of the geogrids available on the market can be effectively used for veneer slope reinforcement. The appropriate selection of geogrids and their proper application and anchoring are of utmost importance to ensure local stability of sloping terrains. The present paper gives an overview of the geogrids available on the market and the possibilities for their designing and anchoring, for veneer slope reinforcement. Alternative approaches for veneer slope reinforcement using other types of geosynthetic materials are outlined.

¹ Branimir Bratov, Dr. Eng., UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: branimir.bratov@yahoo.com

² Ivan Doykov, Dr. Eng., UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: doykoff@abv.bg