

ОТНОСНО ИЗЧИСЛЯВАНЕТО НА ОПЪННИ ФУНДАМЕНТИ

Стойна Любенова Костова
kostova.stoyna@gmail.com

*Висше транспортно училище “Тодор Каблешков”,
катедра “Транспортно Строителство и съоръжения”
ул. “Гео Милев” 158, София 1574,
БЪЛГАРИЯ*

***Ключови думи:** опънни фундаменти, анкери, Еврокод, почвени анкери, хоризонтална анкериреща плоча, напрежения в почвите.*

***Резюме:** В статията са разгледани опънните фундаменти и някои аспекти от тяхното изследване като: Видове опънни фундаменти. Анкери, видове анкери според предназначението, начина на закотвяне, и напрежението в анкерната армировка. Приложение на вертикални опънни анкери, за предотвратяване повдигане на строителни конструкции и съоръжения от опънни сили, както и опън предизвикан от действието на воден подем върху дъното на кондтрукциите. Начини на закотвяне на опънни фундаменти. Анкери със закотвяща анкерна плоча. Случай на вертикален анкер с хоризонтална правоъгълна и кръгла анкерни плочи. Принципи на изчисляване и оразмеряване на опънните фундаменти. Напрежения в строителните почви, които се получават вследствие на натоварването им с опънни сили, и конкретно при хоризонтална анкерна плоча. Поведение на почвите и предаване на натоварването от анкерните плочи върху почвите. Влияние на размерите на анкерирещите плочи върху напреженията, които се предават на строителните почви. Влияние на почвените характеристики – обемно тегло на почвата, ъгъл на вътрешно триене и кохезия при определяне на напрегнатото състояние на строителните почви. Извод за причините за разрушаване и компроментиране на анкерните фундаменти.*

I. УВОД

Използване на анкерите в съвременното строителство се прилага все повече, поради много по-сложните съоръжения, които се изграждат днес. Анкери се използват за укрепване на изкопи, за фундиране на мостове, за укрепване на склонове и свлачища, за укрепване на тунели, при изграждането на много видове мачтови конструкции подложени на въздействието на вятъра и др. Анкери се използват още за изграждането на конструкции, които са подложени на воден подем. При последните трябва да се осугури стабилитета им от действието на подемната сила на водата.

БДС EN 1997-1:2005 /Еврокод 7-1 /Гетехническо проектиране - част 1: Основни правила/ [1] е официално издание на български език на европейския стандарт EN 1997-1. Той е със статут на Български стандарт и в т. 8 “Анкериране” за анкери има засегнати някои основни положения и принципи на проектиране. В този стандарт не са

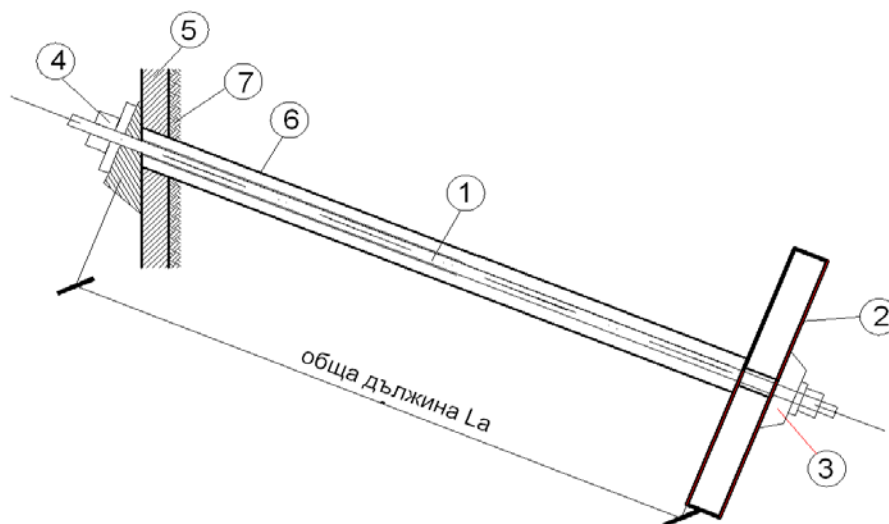
регламентирани специфичните земни работи, и те са предмет на други указания и препратки към други стандарти. Стандарти свързани с анкери са EN 1537 1997/2002/ [2] и се отнася до проектиране на земни анкери и EN ISO 22477-5 – „Тестване /изпитване/ на анкерите“. В Р. България по БДС EN 1993-1-11:2007 /Еврокод 3/: Проектиране на стоманени конструкции - Част 1-11: „Проектиране на конструкции с опънати елементи“ са дадени подробни изисквания относно анкерите и тяхното проектиране [3]. В старите български норми анкерите са засегнати много малко в Наредба № 12 – „За проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони“ от 2001 г. [4].

II. ОСОБЕНОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ НА АНКЕРИ.

Анкерите се делят на временни и постоянни според продължителността на експлоатацията им. По съвременните норми временни са анкерите с просължителност до 2 години. Според някои автори временните анкери се категоризират в зависимост от това дали в даден етап на съоръжението анкерите стават ненужни, а като постоянни анкери тези, които остават през цялото съществуване на строителното съоръжение.

Анкерите биват напрегнати и ненапрегнати, в зависимост от това как работят и какво усилие могат да поемат. При условие, че след закотвянето в почвата анкера се напъга той е от първия вид, а ако просто е изпълнен без напъгане, след изпълнение на закотвянето на стоманения прът в почвата е ненапрегнат. Обикновено напрегнатите анкери се изпълняват от високоякостни стомани за напъгане. Ненапрегнатите анкери се наричат още пасивни анкери. Те се изпълняват от стоманени пръти или профили. Закотвянето на анкера в почвата се извършва с инжектиране на циментови разтвори или по механичен начин с анкерирани плочи(стени).

Напрегнатите анкери са много отговорни съоръжения, с тяхното изпълнение се занимават специализирани фирми. В тези фирми в зависимост от производителите на анкерите, вида на почвата и вида на съоръжението се спазват строги правила за извършване на закотвянето и напъгането на анкерите.



Фиг. 1. Схема на анкер запънат в плоча

1-армировка на анкера, 2-закотвяща плоча, 3-закотвяне, 4-закотвяне на анкерната глава, 5- подпорна стена, 6- сондажен отвор, 7-почва.

Предпазване на стоманената част на анкера от корозия е един много отговорен момент при изпълнението на анкерите. От добрата корозионна защита на стоманата по цялата дължина на анкера, зависи продължителността на действие на анкера, т.е. неговия живот. Много компроментирани конструкции има вследствие на недобра корозионна защита на анкера. Антикорозионна защита трябва да се нанася и в главата на анкера и по неговата дължина. Главата на анкера може да бъде защитена допълнително с капачка. При все това разрушението на укрепващите съоръжения се дължи преди всичко на разрушение на корена на анкера. Коренът на анкера представлява тази част от дължината от анкера, в зоната на която се осъществява връзката между анкера и почвата. Такъв корен съществува при инжекционните анкери. Разрушението на корена на анкера се дължи на не добре отчетени почвени условия и характеристики, недобре изпълнен корен на анкера, или в промяна на напрегнатото състояние на почвата.

Еврокод 3: Проектиране на стоманени конструкции [3]. Част 1-11: Проектиране на конструкции с опънати елементи дава особеностите на проектиране, Според този Еврокод анкерите се изчисляват за крайни гранични състояния, експлоатационни гранични състояния и на умора на материала. При изследването на анкерите се предвижда да се отчетат и тяхните трептения. В съответни таблици са дадени гранични стойности, които не трябва да се надвишават. Изчисляването по крайни гранични състояния се извършва с изчислителни стойности на въздействията, при което приложените осови товари не могат да превишават изчислителната носимоспособност на опън (изтръгване) на анкера.

$$(1) \quad P_d \leq R_{a,d}$$

Изчислителната носимоспособност на изтръгване на анкера $R_{a,d}$ се получава от характеристичната стойност $R_{a,k}$ с разделяне на частен коефициент γ_a , отчитащ неблагоприятни отклонения на носимоспособността на изтръгване.

$$(2) \quad R_{a,d} = R_{a,k} / \gamma_a$$

При метода по крайни гранични състояния, изчислителните стойности за почвени характеристики и материали се получават от характеристичните с разделяне на съответните характеристични стойности с частни коефициенти. Използването на частни коефициенти винаги трябва да бъде в полза на сигурността на конструкцията. По експлоатационни гранични състояния се работи с характеристични стойности на въздействията и материалите, почвените характеристики и други показатели, които се използват. Прилагат се три изчислителни метода. Те са описани подробно с решен пример в [5]. Трите подхода дават комбинация на изчислителни въздействия, почвени параметри и носеща способност на конструкцията с различни коефициенти на сигурност. Дадени са също и въздействията, които трябва да се предвидят за нормалната работа и неразрушаване на опънатите елементи. Опънатите конструкции, според Еврокод 3, се натоварват със следните товари:

- собствено тегло;
- въздействие от вятър;
- обледяване;
- топлинни въздействия;
- въздействие от предварително налягане;
- натоварвания от умора;

Предвидено е да се отчете случай, при който един от опънатите елементи не работи и се налага да бъде подменен - това се счита за извънредна изчислителна ситуация.

При този случай трябва да се предвиди и динамичния ефект от внезапен отказ на кабела. Това се изразява със следната формула:

$$(3) \quad E_d = k \cdot E_{d2} - E_{d1}$$

където:

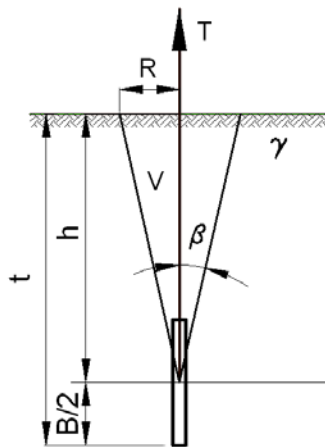
E_{d1} - са изчислителните усилия при наличие на всички кабели;

E_{d2} - е изчислителното следствие на отстранения кабел;

$k = 1,5$ е коефициент;

За избягване на въздействия между носещите участъци на анкерите, те трябва да се разполагат на разстояния един от друг повече от 1,50m. В [3] са посочени материалите използвани за анкерни конструкции, дълготрайността на теловете, въжетата и снопите използвани за опънни съоръжения. Анतिकорозионната защита, оразмеряване на скоби, на седловидна опора и други особености са систематизирани също така в този стандарт [3].

Според „Технически указания за проектиране, изчисление изпълнение и контрол на анкерно укрепване” [6] - устойчивостта на вертикални анкери, които са подложени на опън се дава, като около всеки анкер се изчертава почвен обем V , с тегло равно на граничната носимоспособност на анкера T .



Фиг.2 Обем почва, с тегло равно на граничната носимоспособност на анкера T .

Този обем около анкера се приема с формата на конус (фиг. 2). При почва без триене този конус преминава в цилиндър. При два съседни анкери, на които обемите се пресичат ще трябва да се намали носимоспособността на анкерите с обемите, които се застъпват. За (фиг. 2) имаме анкерната сила T е равна на обема почва ангажиран от анкера. Формулите са изведени само за характеристични стойности.

$$(4) \quad T = G = \pi \cdot R^2 \cdot \frac{h}{3} \cdot \gamma$$

където:

h е височината от средата на анкерната плоча до терена;

R - радиус на конуса определен с наклон под ъгъл β ;

γ - обемно тегло на почвата.

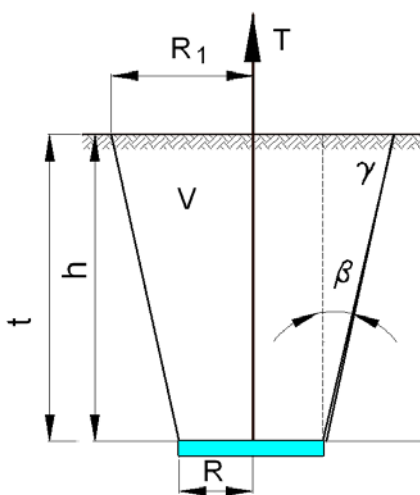
III ХОРИЗОНТАЛНИ АНКЕРНИ ПЛОЧИ.

Тук ще разгледам хоризонтална анкерна плоча. Този проблем почти не е застъпен в нормите. Бихме могли да изведем формули за случай на хоризонтална кръгла закотвяща плоча, при която можем да приемем, че повърхнината ангажирана от анкер в еднородна среда с триене има формата на пресечен конус - за по-лесно изчисляване на теглото на обема почва (фиг.3). Ъгълът на отклонение на страничния ръб на пресечения конус е β ,

за свързани почви $\beta = 1/3 \varphi$.

При радиуси R на плочата и R_1 на почвата на повърхността и кръгла форма на плочата, и като пренебрегнем дебелината на плочата получаваме:

$$(5) \quad V = \frac{\pi \cdot h}{3} (R^2 + R_1^2 + R \cdot R_1) [m^3]$$



Фиг.3 Приет обем почва, при кръгла хоризонтална плоча

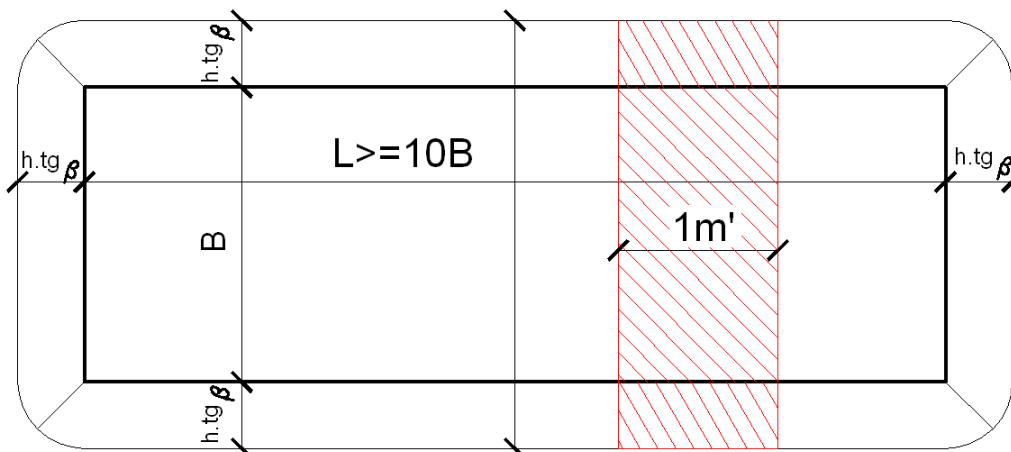
Теглото на обема почва ангажирано от анкера ще бъде:

$$(6) \quad G = \gamma \cdot \frac{\pi \cdot h}{3} (R^2 + R_1^2 + R \cdot R_1) [kN]$$

Граничният отпор на анкера T е равен на теглото на обема почва G , т.е. $T=G$.

При квадратна плоча можем да заместим нейната площ с еднакъв по площ кръг и да получим по аналогичен начин теглото на обема почва.

За ивична плоча с размер $B = 2b$, коректния обем почва би бил както е показан на (фиг.4).



Фиг. 4 Приет обем почва при ивична правоъгълна анкерна плоча.

Ако имаме една ивица от плоча с ширина B , а в другата посока е отрязана част от нея с размер $1m$. В полза на сигурността нека да изрежем ивица с размер $1m$ от средната част на анкерната стена. Ще получим обема на почвената призма с височина h и размери B и $B+2h.tg\beta$, в другата посока размерът е $L=1m$. Теглото на този обем почва е:

$$(7) \quad G = \frac{h}{2} (B + B + 2.h.tg\beta).1m'.\gamma [kN]$$

Резултантата C [kN] на кохезията c [kN/m²] по околната повърхнина на призмата е:

$$(8) \quad C = \left[\frac{2h}{\cos\beta} + (2B + 2.h.tg\beta).h \right].c [kN]$$

Общата Анкерна сила $T = G+C$.

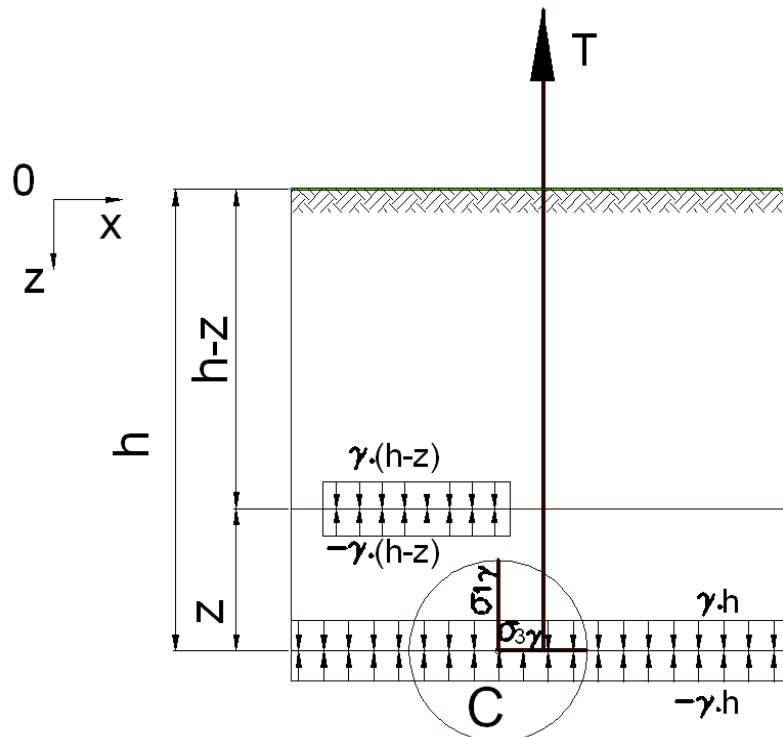
Напреженията в земната основа от равномерно разпределен ивичен товар получени по формулите на Мичел (J. Michell) и подобно на намерените за сводов ефект в [7] на дълбочина $(h-z)$, както е показано на (фиг. 5) са:

$$(9) \quad \sigma_1^* = \sigma_{1\gamma} + \sigma_{1p}$$

$$(10) \quad \sigma_3^* = \sigma_{3\gamma} + \sigma_{3p}$$

Напреженията във вертикална посока са σ_1 , а в хоризонтална посока σ_3 .

Главните напрежения σ_1^* и σ_3^* са сума от напреженията от собствено тегло почва σ_{1g} , σ_{3g} и от напреженията от външен товар σ_{1p} , σ_{3p} .



Фиг. 5 Напрегнато състояние на почвата на дълбочини $(h-z)$ и h при действие на анкерната сила.

На дълбочина z над нивото на анкерната плоча, напреженията от собствено тегло почва и от външен товар са определени за плочата по следния начин:

$$(11) \quad \sigma_1^* = \gamma(h-z) + \frac{p_0}{\pi}(2\alpha + \sin 2\alpha)$$

$$(12) \quad \sigma_3^* = \gamma(h-z) + \frac{p_0}{\pi}(2\alpha - \sin 2\alpha)$$

Външният товар, в случая анкерната сила е представена от равномерно разпределения товар p_0 върху площ A . т.е. $T = p_0 \cdot A$.

Уравнението на пластичността по Мор – Кулон (Mohr – Coulomb) е:

$$(13) \quad \sin \varphi = \frac{(\sigma_1^* - \sigma_3^*)}{2c \cdot \cot g \varphi + \sigma_1^* + \sigma_3^*}$$

При $z = 0$ и $z_{max} = h$ се получава критичната стойност на напрежението p_{cr} , при което започва образуването на пластични зони в близост до ръбовете на фундамента, в случая плочата на анкера.

$$(14) \quad p_{cr} = \frac{\gamma \cdot h + p_e}{\sin 2\alpha - 2\alpha \cdot \sin \varphi}$$

Една от най - честите причини за разрушаване и компроментиране на фундаменти подложени на опън е разрушаването на почвата. Разрушението може да се дължи на недобре отчетени почвени параметри, или промяна в напрегнатото състояние на почвата /например работа на почвата под вода, поради нейното овлажняване и др./

Големината на анкериранията плоча влияе на анкерната сила, която се поема. Колкото по-голяма е анкерната плоча толкова по-голяма сила тя може да понесе. Колкото по-голяма е кохезията и ъгъла на вътрешно триене на почвата, толкова по-голяма анкерна сила се поема.

Гореизложената теоретична методика за изчисляване на хоризонтални анкерни плочи, в практически аспект може да се използва за тяхното оразмеряване и определяне на оптималната дълбочина на закотвяне, което е предмет на моя следваща разработка.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. БДС EN 1997-1 Еврокод 7: Геотехническо проектиране. Част 1: Основни правила - на български език, в електронен вариант, БИС, 2007.(BDS EN 1997-1 (Evrokod 7: Geotehnichesko projektirane. Chast 1: Osnovni pravila - na balgarski ezik, v elektronen variant, BIS, 2007).

[2]. EN1537:2002 .Execution of special geotechnical work: Ground anchors". CEN, Brussels

[3]. БДС EN 1993-1-11:2007 Еврокод 3: Проектиране на стоманени конструкции. Част 1-11: Проектиране на конструкции с опънати елементи, БИС, 2007. (BDS БДС EN 1993-1-11:2007. Evrokod 3: Proektirane na stomaneni konstrukcii. Chast 1-11: Proektirane na konstrukcii s oranati elementi, BIS, 2007).

[4]. Наредба №12 За проектиране на геозащитни строежи, сгради и съоръжения в свлачищни райони, 2001. (Nardba za projektirane na geozastitni stroeji, sgradi i saorajenia v svlachistni raioni, 2001).

[5]. Костова, С. Изчислителни методи за определяне на носещата способност на земната основа според Еврокод 7 и българските норми. „Международна научна конференция Транспорт 2011”, София, 2011. (Kostova, S. Izchislitelni metodi za opredeliane na nosestata sposobnost na zemnata osnova spored Evrocod 7 i balgarskite normi. “Mejdunarodna nauchna konferencia Transport 2011”, Sofia, 2011).

[6]. Технически указания за проектиране, изчисление, изпълнение и контрол на анкерно укрепване, Министерство на строителството и архитектурата ДСО „Хидрострой”, Второ издание, 1981. (Tehnicheski ukazania za projektirane, izchislenie, izpalnenie i control na ankerno ukrepvane, Ministerstvo na stroitelstvoto I arhitekturata DSO Hidrostroi, Vtoro izdanie, 1981).

[7]. Денев, Д. Сводовият ефект. ”Пони”, София, 2011. (Denev, D. Svodoviat efekt. Poni, Sofia 2011).

CONCERNING DESIGN OF ANCHOR FOUNDATION

Stoyna Kostova

kostova.stoyna@gmail.com

*Todor Kableshkov University of Transport,
Department of Transport and structure engeneering,
Geo Milev str.158, Sofia 1574,
BULGARIA*

Key words: *tension foundations, anchors, Eurocode, soil anchors, horizontal anchor plate, soil stress.*

Abstract: *Present report observes tensile foundations and some aspects of their research as: Types tensile foundations. Anchors, anchor types according their purpose, the mode of anchoring, and the tension in the anchor reinforcement. Usage of a vertical tensile anchors, for preventing lifting of building structures as well as tensile strength caused by the action of water uplift applied on the bottom of structure. Methods of anchoring tensile foundations. Anchors with anchoring plate. We observe a case of vertical anchor with a horizontal rectangular and circular anchor plates. Principles of calculation and design of tensile foundations. Stresses in soils caused by tensile forces and especially in case of horizontal anchor plate. Work of the soil and transfer the load from the anchor plates on the soil. Dependence between the size of the anchor plates and the stresses transferred to the soils. Influence of soil characteristics - bulk density, angle of internal friction and cohesion in determining the stress state of construction soils. Conclusion about the causes of destruction and compromised anchor foundations.*