

Носеща способност на пилоти, достигащи скална основа

Г.Илов

Проектирането на пилоти е известна процедура (Нормативи за проектиране на пилотни фундаменти, например [1]). В нея, основният проблем е въпросът за определяне на **носещата способност на пилотите**. Нататък се изисква подходящо подреждане на пилотите и доказателство за силите в пилотите, които да не надхвърлят изчислителното им натоварване, приемано като част от носещата способност. Процедурата е същата и в случаите, когато пилотите достигат и навлизат в основна скала.

1. Въведение

При определяне на носещата способност на пилоти, които гарантирано достигат и навлизат в основна скала, не се разчита на странично триене от почвени пластове, които се намират над скалната основа. Причината е ясна - липсва взаимно преместване между пилотния елемент и почвената среда. Следователно целият товар се предава само и изцяло върху скалната основа. В този случай, пилотите, достигащи скала, се разглеждат като стоящи и при определяне на носещата способност се разчита само на навлизането на пилотите в скалата. Когато пилотът е достигнал матерната скала и е "опрял" в нея, носещата му способност се определя на базата на върховото съпротивление на средата, а в случай на навлизане на елемента в скалата, следва да се отчете това, че предаването на напрежения става както чрез петата на пилота, така и чрез страничния контакт в зоната на навлизане на елемента в основната скала. И в двата случая носещата способност се определя [4] по формулата (фиг. 1)

$$N_{1.} = Ut_0 \cdot R_f + R_b \cdot A, \quad (1)$$

U - периметърът на напречното сечение,

t_0 се приема $t_0 = t - 0,5D$, t – дълбочина на навлизане, D - диаметърът на пилота;

R_b - върхово съпротивление,

R_f е най-малката стойност между трите съпротивления - якостта на срязване на скалата, якостта на срязване на бетона от изливния пилот или на сцеплението между бетона и стените на сондажа. (Очевидно тук и нататък ще става дума само за изливни пилоти).

За пилоти, работещи на опън, формулата за носещата способност е

$$N_{1,t} = Ut_0 \cdot R_f. \quad (2).$$

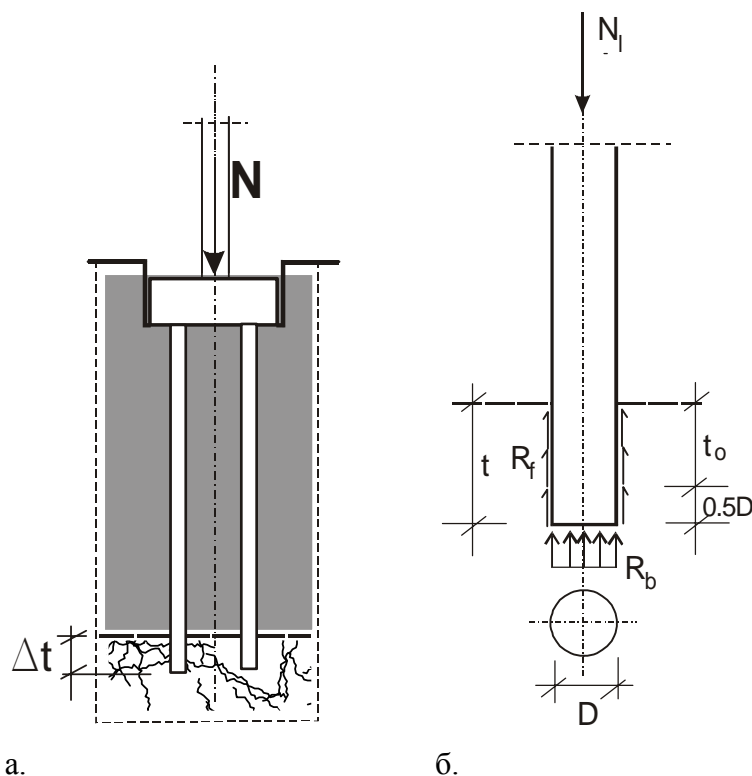
И двете отбелязани формули са много ясни, но (особено първата) спорни. Спорна е формулата за носещата способност при натиск, защото тя изисква едновременно изчерпване на върховото (R_b) и страничното (R_f) гранично съпротивление (и двете в смисъл на якости).

Например в [1] върховото съпротивление се приема

$$R_b = \frac{R_0}{\gamma_m} \cdot \left(1.5 + \frac{t_0}{D}\right) \quad (3)$$

и не се отчита странично съпротивление в (1).

Във формула (3) с R_0 е отбелязана якостта на скалата при осов натиск, с γ_m – частичният коефициент на сигурност.



Фиг. 1. Пилотен фундамент (а) и схема (б) за предаване на товари от пилотни елементи върху скална основа.

Определянето на върховото съпротивление (якост) може да стане чрез израза за слягане на скалната основа под кръгла щампа [2]

$$s = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{R_b \cdot (1 - \nu^2) \cdot D}{2 \cdot E \cdot m} ,$$

като при прието слягане s (според [2 и др.] – 0.5% от диаметъра на щампата) се получава (ν - коефициент на Поасон)

$$R_b = \frac{4.s.E.m}{\pi.D.(1-\nu^2)} \quad (4).$$

В тази формула с известно приближение за основната скала за m може да се приеме :

Таблица 1. Стойности за m по (4).

Отношение t_0/r (фиг.2б)	0	2	4	6	8	14
m (при $\nu = 0.1-0.3$)	1	1.5	1.9	2.0	2.1	2.2

Върховото съпротивление R_b също може да се приеме приблизително и съгласно Таблица 2 [4].

Таблица 2. Върхово съпротивление,кРа.

Скали/състояние	Магмени	Метаморфни	Седиментни	Конгломерати, брекчи	Мергели
Неизветряли	8000	8000	7000	6000	4000
Средно изветряли	5000	4000	3000	3000	2000
Силно изветряли	2000	1500	1500	1000	500

Страничното съпротивление на срязване R_f може да се определи на базата на опит, като се изследва срязването по сондажна ядка във втвърдена бетонова смес.

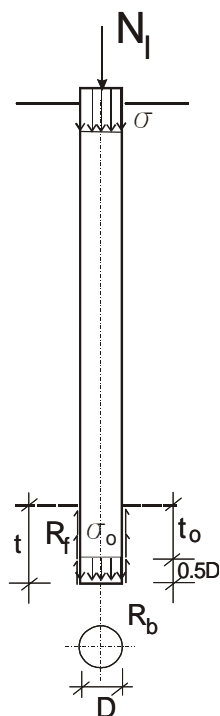
Съгласно DIN 1042/2 [4] **страничното съпротивление** на срязване може да се приеме

$$R_f = \frac{1}{10} R_b,$$

а Goodman в [2] препоръчва

$$R_f = \frac{1}{20} R_b \quad (5).$$

Една друга възможност за определяне на носещата способност на пилот предлага опростеното решение на Ладани [2]. Схемата на решение предвижда, че при съвместната работа, навлязлата в скалата част от пилота предава върхови напрежения σ_0 , а по стените - срязващи напрежения τ . В резултат на опити и на решения по МКЕ се установява, че в гранично състояние по отношение на срязването по стените на пилота, отношението между напрежението в сечение в главата на пилота $\sigma = N/A$ и това в неговата пета σ_0 може да се отчете (фиг. 2) в зависимост от отношението между ефективната дълбочина на навлизане на пилота и неговия радиус от Таблица 2.



Фиг. 2. Схема към принципа на Ладани

При това положение в гранично състояние може да се запише

$$\sigma \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} - n \cdot \sigma \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \pi D \cdot t \cdot \tau$$

или

$$N - n \cdot N = \pi \cdot D \cdot t \cdot \tau, \quad \text{или}$$

$$N_l = \frac{\pi \cdot D \cdot t \cdot \tau}{1 - n}, \quad (6)$$

където n зависи от отношението t_0/r и това между модулите на скалата и на бетона (E_r/E_b) и се отчита от Таблица 3.

Таблица 3. Таблица за $n = \sigma_0/\sigma$ (по (6)).

$E_r/E_b \downarrow$	$t_0/r \rightarrow$	1	2	3	4
0.5		0.50	0.290	0.165	0.105
1		0.485	0.235	0.135	0.085
2		0.455	0.200	0.110	0.055
4		0.425	0.160	0.085	0.015

2. Едно ново решение

Решението, което се предлага за определяне на носещата способност на пилот, достигнал и навлязъл в скална основа, се провежда при следните предпоставки:

- Скалната е преобладаващо монолитна и съществуващите скални пукнатини не оказват влияние върху модела на изследване.
- Отделя се скален пласт с дебелина d , равна на дълбочината на навлизане на пилота с диаметър D в коренната скала.
- Скалният пласт се разглежда като безкрайно голяма плоча, натоварена с концентриран товар (от пилота), като взаимодействието с останалата част от масива се отразява чрез пружинни връзки от Винклеров тип.
- Приема се, че реакцията в пружините (с линейна апроксимация в зоната на товара [5]) бързо затихва (теория на дългите греди – Винклеров тип) и е ограничена с радиус $2\bar{l}$ [5], където

$$\bar{l} = \sqrt[4]{\frac{4 \cdot E \cdot I}{k}}$$

(E – модулът на скалата, I – инерционен момент на скален пласт с ширина 1 -ца, k – коефициентът на Винклер).

При тези предпоставки, отразени на фиг. 3,а може да се използва проверката на продънване на въображаемата плоча, като възможност за изчисляване на носещата способност на пилот, като сила предизвикваща продънване.

Силата на продънване е резултантната между N и ΔN , като ΔN се определя от обем на диаграмата на пружинната реакция от силата N под долната основа на коничното сечение (фиг. 3,а).

Резултатът е

$$N - \Delta N = \frac{1}{16} \cdot p \cdot \left(2l - \frac{D}{2} - d\right) \cdot \pi \cdot \frac{1}{3} \cdot (4l + 2D + 4d).$$

След заместване на големината на максималното напрежение (под силата)

$$p = \frac{3 \cdot N}{4 \cdot \pi \cdot l^2} \quad \left(p' = \frac{p \cdot \left(2\bar{l} - \frac{D}{2} - d\right)}{2\bar{l}} \right)$$

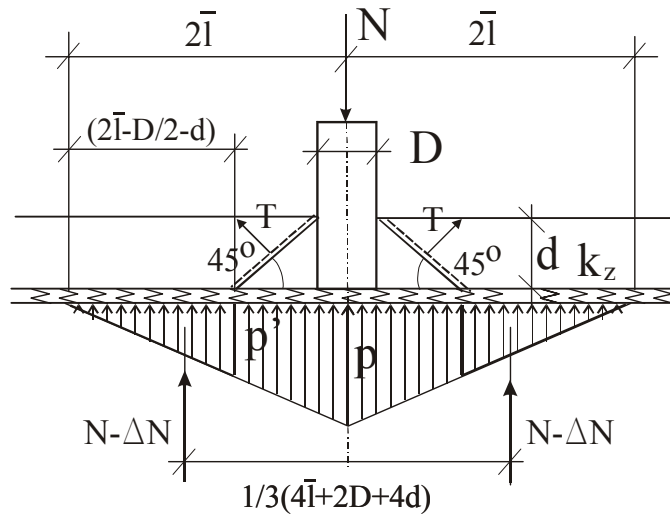
се получава следният израз за продънващата сила $N - \Delta N$

$$N - \Delta N = N \cdot \left[\frac{1}{16} \cdot \frac{1}{\bar{l}^3} \cdot \left(2\bar{l} - \frac{D}{2} - d\right)^2 \cdot (4\bar{l} + 2D + 4d) \right]. \quad (6)$$

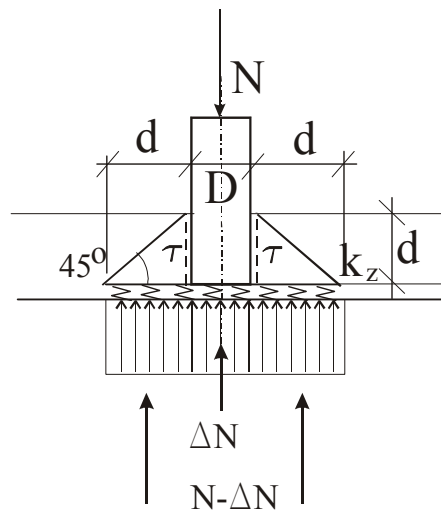
При площ на коничното сечение на продънване

$$S = \frac{\pi \cdot d \cdot (D + d)}{\sin(45^\circ)},$$

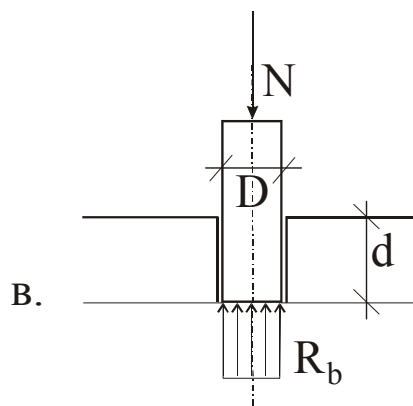
опънното напрежение по контура на сечението ($\Sigma V=0$) е



а.



б.



в.

$$\sigma_t = \frac{N - \Delta N}{\pi \cdot d \cdot (D + d)}$$

Фиг.4. Изчислителни схеми

В гранично състояние $\sigma_t = R_0$ и с оглед на (7) за N, като носеща

способност се получава:

$$N = N_l = 16.\pi.\bar{l}^3 .R_0 . \frac{d.(D + d)}{(2\bar{l} - \frac{D}{2} - d)^2 .(4\bar{l} + 2D + 2d)} . \quad (8).$$

Ако се предположи нататък, че разрушението по схемата на фиг. 3,а се прояви, то нататък напрегнатото състояние се характеризира вече съгласно схемата от фиг. (3,б) . Възможността за разрушение се характеризира отново чрез продънване, но вече по цилиндричното сечение около контура на пилота. В този случай проверката на продънване се изразява с равенството

$$N - \Delta N = N . [1 - \frac{D^2}{(D + 2.d)^2}] ,$$

в който израз е отчетено средно напрежение

$$p = \frac{4.N}{\pi.(D + 2d)^2} .$$

В гранично състояние, при продънваща сила

$N - \Delta N = T$ (T – максимална срязваща сила),

за носеща способност по втората изчислителна схема (фиг. 3,б) се получава

$$N = N_l = \frac{\pi.D.d}{[1 - \frac{D^2}{(D + 2d)^2}]} . 2R_0 ,$$

където за якост на срязване по цилиндричното сечение е прието $\tau = 2.R_0$.

Следващото възможно състояние на “контакт” се свързва само със стъпване на пилотното тяло върху основата. Контурна връзка с околната скала тялото няма. В този случай носещата способност е:

$$N_l = 1/4 \pi D^2 R_b \quad (9).$$

Идеята за тази последователност на разрушение цели, чрез смяната на изчислителната схема, да се получи възможно най-голямата стойност за максималната сила, която може да понесе скалната основа, натоварвана с пилот. При това, максималната стойност може да бъде получавана **по всяка една от изложените три схеми.**

Накрая, припомним, че при проектиране на пилотни фундаменти върху скална основа задължително се прави проверка на якостта на пилота по материал, която се изразява в следното

$$N_{zp} < (A_b \cdot R_b + A_a \cdot R_a), \quad (10)$$

където R_b и R_a са якостите на бетона и стоманата (армировъчната), а A_a и A_b съответно - площите на техните напречни сечения.

3. Кратък числов анализ на изложените резултати.

За анализ на показаните възможности за определение на носещата способност на пилоти, навлизащи в скална основа, се използва схемата от фиг. 1. Пилотът е с диаметър 1 m, бетонът притежава призмена якост 11.5 МПа (бетонно покритие 7.5 cm.), стоманата има якост 275 МПа. (1.5% армиране). Ефективното навлизане на пилота в основната скала е $t_0 = 1,5$ m при модул на скалната основа $E = 1000$ МПа и $\nu = 0.2$. Меродавната опънна якост е $R_0 = 0.5$ МПа.

1. Без да се отчитат нормираните коефициенти за сигурност по материал, на условия на работа и пр., **носещата способност на пилота по материал е**

$$N_I = 0.25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot (R_b + 0.015 \cdot R_a) = \mathbf{8.86 \text{ MN}} \text{ (886 t)}.$$

2. За слягане на пилота от 0.5% от неговия диаметър, от формула (4) следва, че върховото съпротивление е ($m = 1.72$ от Таблица 1)

$$R_b = \frac{4 \cdot s \cdot E \cdot m}{\pi \cdot D \cdot (1 - \nu^2)} = 11.4 \text{ МПа}.$$

Ако се приеме, че граничното състояние се свързва само със върховото съпротивление (НиП93), то носещата способност на пилота ще бъде

$$N_I = \frac{\pi D^2}{4} \cdot R_b = \mathbf{6.47 \text{ MN}} \text{ (647 t)}.$$

3. Трети резултат (по наше мнение твърде предпазлив) който може да се получи, е като се използва опростеното решение на Ладани. Припомним, че при него определящо е съпротивлението (якостта) на срязване. От условието тангенциалните напрежения да са равни на якостта на срязване се получава

$$N_I = \frac{\pi D \cdot t \cdot \tau}{(1 - n)}, \text{ което за } n = 0.13 \text{ (отчетено от Таблица 3) и якост на}$$

срязване $\tau=2$. $R_0 = 1000$ kPa, за носещата способност се получава

$$N_1 = \mathbf{5.64\ MN} \text{ (564 t)}.$$

4. Четвърти резултат е този по (4). При върхово съпротивление (за $t=0$, $m=1$) се получава

$$R_b = \frac{4.s.E.n}{\pi.D.(1-v^2)} = 6.67 \text{ MPa (за } m=1).$$

Доверявайки се на DIN 4014/2, приемаме

$$R_f = \frac{1}{10} R_b = 667 \text{ kPa}.$$

носещата способност по (1) е:

$$N_1 = U_{t_0} \cdot R_f + R_b \cdot A = \mathbf{8.37\ MN} \text{ (837t)}.$$

5. По предложеното решение се получават следните резултати:

5.1. При \bar{l} равно (кръгло) на 3.00 m по (8) за носеща способност на пилота по първата схема се получава

$$N_1 = \mathbf{7.95\ MN} \text{ или } 795 \text{ t}.$$

5.2. При контурно срязване (втора изчислителна схема) по (9)

$$N_1 = \mathbf{5.02\ MN} \text{ или } 502 \text{ t}.$$

5.3. При схема “стъпване на пилота в скална основа” (от по-горе $R_b=6.67$ MPa) за носеща способност се получава

$$N_1 = \frac{1}{4} \cdot 3,14 \cdot 1^2 \cdot 6.67 = \mathbf{5.23\ MN} \text{ или } 523 \text{ t}.$$

Резюмирайки получените резултати по точки (от примера)

Точка	1.	2.	3.	4.	5.1.	5.2.	5.3.
N_1 , MN	886	647	564	837	795	502	523

следва да бъдат изключени ограничението за носеща способност от т.1. и резултатите от т.т. 5.2 и 5.3., като по-малки от 5.1. Останалите четири резултата дават средноаритметична стойност за $N_1 = 7,10$ MN (710 t). Този резултат според нас е приемлив, поради което считаме, че изложеното дава добра база за определяне на изчислителното натоварване на изливни пилоти в скална основа.

Литература:

- [1]. Норми за проектиране на пилотно фундиране. БСА 6/1993 год.
- [2]. Goodman, R. Introduction to Rock Mechanics. Wiley, New York, 1987.
- [3]. Poulos, H., Davis, E. Elastic Solution for Soil and Rock Mechanics. Wiley, New York, 1968.
- [4]. DIN 4014/2. Bohrzpfahle; Grosbohrpfahle, Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung Bodenmechanik und Grundbau, Fachausdrucke, Formelzeichen.
- [5]. Шнеебели, Ж. Шлицови стени, С., Техника, 1979.

Носеща способност на пилоти достигащи скална основа

Г. Илов

Резюме

В статията се разглеждат няколко възможности (съгласно НиП93, DIN и Ladanyi) за определяне на носещата способност на изливни пилоти, достигащи и навлизащи в основна скала. За определяне на носещата способност се предлага ново решение, предвиждащо постепенно разрушаване на основата в и около зоната на навлизане на пилотите в скалната основа. Използват се конични и цилиндрични сечения на разрушение, като база за оценка е изчерпване на якостта на срязване на скалата. Получени са формули за изчисляване на носещата способност за всяка една от трите фази на разрушение.

В заключение е направен анализ на числови резултати, получени по известните решения и направеното предложение.

Abstract

Several variants of modeling the bearing capacity (according to BG norms, DIN and Ladanyi) of bored piles on rock base, are considered in this paper. In order to determinate the bearing capacity a new solution is proposed, accounting for the gradual fracture of the base within and around the zone of penetration of the piles. Conical and cylindrical fracture sections are used, and the criterion employed is shear limit strength. Few formulas are suggested for calculation of the bearing capacity for each one fracture phase.

Finally an analysis is made, based on the numerical results, obtained by proposed method and known solutions from the literature.