

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА ВЗАИМОДЕЙСТВИЕТО НА БЛИЗКО РАЗПОЛОЖЕНИ ФУНДАМЕНТИ НА СИЛОЗИ ЗА ЗЪРНО ПРИ НАЛИЧИЕТО НА СЛАБИ ЗОНИ В ЗЕМНАТА ОСНОВА

Ина Божинова-Попова

Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски“, 1700 София, ina_bojinova@abv.bg

РЕЗЮМЕ. При изпълнението на силосни клетки в непосредствена близост една до друга, теоретично се очаква наклоняване на клетките една към друга. Това се дължи на сумиране на вертикалните напрежения в границата на двете тела. В статията е направено изследване върху взаимодействието на фундаментите на силосни клетки с диаметър 24,70 m и на разстояние 44 cm един от друг. Съгласно инженерно геоложкия доклад, под фундаментите на двата нови силоса съществуват пластове от насипи, пясък, глини в течно пластична консистенция и с органично съдържание и по-дълбоко – глинести почви в средно пластична консистенция. Направени са геодезически измервания за определяне на слягането на фундаментите на вече изпълнени силоси при същите условия. Получени са слягания за период от четири години в рамките на 10 – 12,5 cm, като е маркиран и относителен наклон на фундаментите от 0,00023 до 0,0003. Измервания на слягания и наклони и на новопостроени силосни тела, които за период от пет месеца, показват слягания до 2 – 3 cm и по-малки наклони. Направено е сравнение между теоретично определените слягания и наклонявания и измерените стойности. Обяснено е несъответствието на резултатите, като е направено предложение за подобрене на метода за определяне на сляганята при взаимодействието на двата фундамента чрез корекция на напреженията в почвената среда в страни от фундаментите.

Ключови думи: почви, земна основа, слягане, наклоняване, фундаменти.

DETERMINING THE INTERACTION OF CLOSELY POSITIONED FOUNDATIONS OF GRAIN SILOS IN THE PRESENCE OF WEAK AREAS IN THE GROUND FOUNDATION

Ina Bozhinova-Popova

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, ina_bojinova@abv.bg

ABSTRACT. In the execution of silo cells in close proximity to one another, cell inclination towards the neighboring ones is expected in theory. It is due to the summing of vertical stresses within the perimeters of both structures. The article studies the interaction of the foundations of silo cells with a 24,40 m diameters, positioned 40 cm from each other. According to the engineering geological report, under the foundations of both new silos there are layers of embankment, sands, clays in a very soft consistence form and with organic content and, at a deeper level – clay soils of medium stiff consistence. Surveys were carried out to establish the settlement of the foundations of the existing silos, in the same conditions. The settlement for a four-year period amounted to 10 – 12,5 cm, and the surveys established also a relative inclination of the foundations of 0,00023 to 0,0003. The measurement of the settlement and inclination of the newly constructed silos, showed settlement of up to 2 – 3 cm and smaller inclinations, within a four-month period. A comparison was made between the theoretically established settlement and inclinations and the actual measured values. The discrepancy between the results was explained, making a suggestion for the improvement of the method for establishing the settlement in the interaction of both foundations through a correction of the stresses to the soil environment by the foundations.

Key words: soils, ground foundation, settlement, inclination, foundations.

Въведение

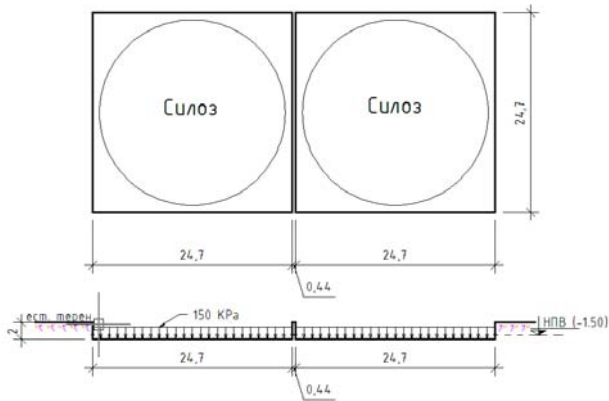
При близко разположени фундаменти се получава суперпониране на напрежения в земната основа под близките краища на фундаментите. Това става причина за наклоняване на фундаментите един към друг, често с много неприятни последици. Взаимодействието на близко разположени фундаменти е особено актуално в застроени райони, при които се налага изграждане на сгради в непосредствена близост, при тежки промишлени съоръжения, които технологично трябва да се монтират на близки разстояния, при допълнително изградени разширения на промишлени и жилищни сгради и при силосни клетки, които винаги се изпълняват непосредствено една до друга, като същевременно са натоварени със значителни товари от зърнени храни,

петролни продукти, инертни материали или от друго естество. Като следствие от теоретичните решения, може да се очаква, че това взаимодействие е значително, т.е. наклоняването трябва да бъде в големи размери, особено при по-слабите почви. На практика, обаче, се установява, че това взаимодействие е много по-слабо, в сравнение с теоретичните решения.

Предмет на изследване

По-долу е направено изследване на взаимодействието при слягането на две силосни тела, фундирани на квадратни фундаменти с размери 24,70x24,70 m², разположени на разстояние 44 cm една от друга. Силосните клетки са изградени в пристанище Бургас и

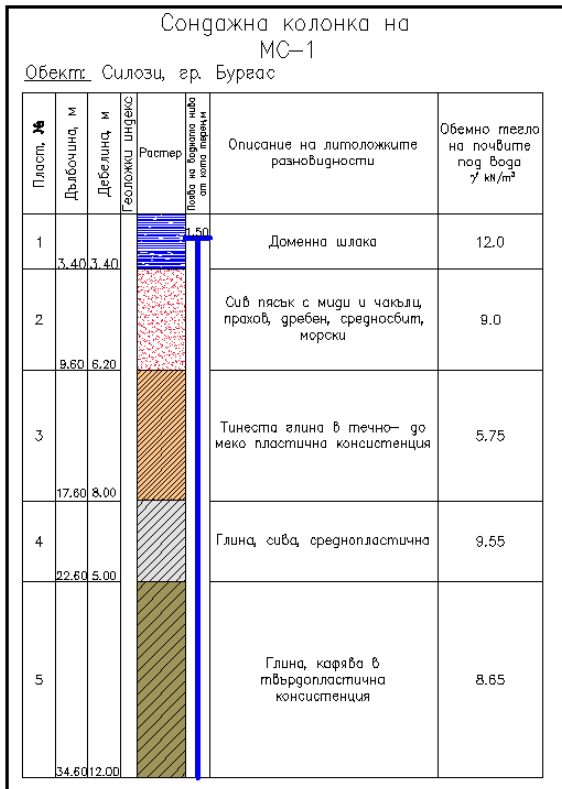
взаимното разположение на фундаментите е показано на фигура 1. Фундирането е на дълбочина 2,0 m от нивото на съществуващия терен. Натоварването на земната основа е по 150 кПа от всеки фундамент (фиг. 1).



Фиг. 1. Ситуация в план и профил на фундаментите на двата силоза

Нивото на подземните води е на нивото на морето и на дълбочина 1,5 m от повърхността на терена, която е приета за основа на всички останали коти.

Земната основа е изградена от почвените разновидности, показани на литоложката колонка (фиг. 2). На нея са дадени и стойностите на обемното тегло на почвите под вода.



Фиг. 2. Литоложка колонка на почвените разновидности от земната основа на силосите

Деформационните характеристики, които имат отношение към сляганята на фундаментите, са определени по лабораторен начин и чрез изпитвания „in situ“ чрез SPT. Данните от SPT-изпитванията са

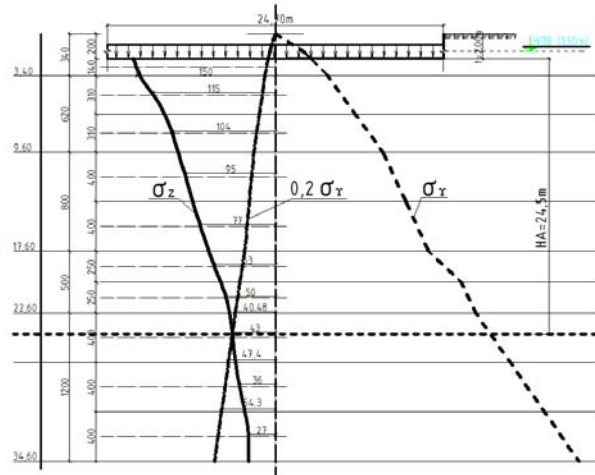
обработени по два начина: по метод, даден в СП 47.13330.212 – приложение И (СНиП, 2012) и по метод, даден от G. Sanglerat (Sanglerat, 1965). В таблица 1 са дадени стойности на деформационните модули на почвените разновидности, след обработката на резултатите, получени чрез различните методи и чрез „обратни“ изчисления, на основата на измерените слягания. Тези модули се приемат като реални и се използват в следващите изчисления, тъй като отговарят на данните от измерванията.

Таблица 1.

Сравнителна таблица за стойностите на деформационния модул E , получени по различни методи

Пласт №	Деформационен модул E , МПа			По обратни изчисл.
	По лаб. Данни	от SPT изпитв.		
		по СНиП	по Sanglerat	
1	-	25,0	25,0	25,0
2	9,0	25,0	20,0	21,0
3	1,64	5,3	7,0	10,0
4	15,0	15,0	17,0	17,5
5	11,8	25,0	35,0	35,0

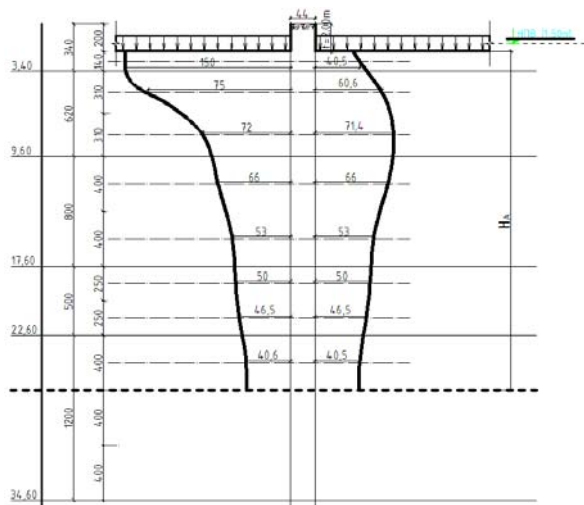
За дадените размери и натоварване са определени вертикалните напрежения в земната основа на фундаментите. Графиките на напреженията са дадени на фигура 3. Активната мощност на слягане е определена от условието, че на нейната долна граница напреженията от фундаментите трябва да са равни на 20 % от геоложкия товар – $\sigma_z = 0,2\sigma_\gamma$ (БДС-EN, 1997). По този критерий, дълбочината на активната зона на слягане е $H_a = 24,5$ m.



Фиг. 3. Определяне на активната мощност на слягане H_a по Steinbrenner

На фигура 4 са дадени напреженията под ръба на единия фундамент, създадени от натоварването на съседния фундамент, изчислени по класическия метод (БДС-EN, 1997). Би следвало тези напрежения да предизвикат допълнително слягане, което ще се изрази като наклоняване на двата фундаменти един към друг. Определеното по този теоретичен начин допълнително слягане, което води до наклоняването на фундамента, е

9,5 см. Тази стойност не отговаря на измереното наклоняване, поради което следва да се определи нова диаграма на разпределение на напреженията от съседния фундамент.



Фиг. 4. Диаграми на напреженията (по Steinbrenner) в ръбовете на съседните фундаменти, предизвикани от взаимодействието.

На същите фундаменти са измерени сляганята за период от 4 месеца, за който може да се приеме, че консолидацията на земната основа е завършена. Измерените сляганя са в границите на 10 – 12,5 см. По данните от измерените сляганя се определя наклоняване на фундамента $\text{tg}\theta \approx \theta = 0,00023 - 0,0003$. Стойностите са различни за различните силосни тела.

Очевидно, измереното наклоняване е в пъти по-малко от прогнозираното, получено по теоретичен път - $\text{tg}\theta = 0,0038$.

За да се определят напреженията, които са предизвикали допълнителното слягане на близо разположения ръб на съседния фундамент, се приема хипотеза за съответни допълнителни напрежения, които да отговарят на условието, че непосредствено под фундамента напреженията от съседния фундамент са нула. Те са нули и на долната граница на активната слегваема мощност на земната основа. Най-близката възможна конфигурация на диаграмата на напреженията може да бъде синусоида, която в най-общ вид да се определя по формулата:

$$\sigma_s = A \cdot \sin \frac{\pi \cdot z}{L} \quad (1)$$

където:

A - коефициент, който определя „стрелката“ на синусоидата и нейната площ и приема дименсията на напрежението; L - дължината (дълбочината) на активната зона на слягане, m; z - текуща координата на функцията в дълбочина, m.

Функцията удовлетворява граничните условия, тъй като за $z = 0$, σ_s е нула, както и за $z = L$ напрежението σ_s също е нула. Коефициентът A се определя от условието, че сумата от парциалните стойности на площите на синусоидата, разделени на деформационните модули на

почвените разновидности за всеки пласт, трябва да даде допълнителното слягане на фундамента, определено от измерването.

Като се приемат реалните стойности на деформационните модули на отделните почвени разновидности, дадени в таблица 1, както и дебелините на отделните пластове, допълнителните сляганя при напрежения, формирани като синусоида, ще имат общата стойност:

$$\begin{aligned} \Delta s &= \frac{A}{35000} \int_0^4 \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \frac{A}{17500} \int_4^9 \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \\ &+ \frac{A}{12000} \int_9^{13} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \frac{A}{10000} \int_{13}^{17} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \\ &+ \frac{A}{21000} \int_{17}^{23} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz + \frac{A}{25000} \int_{23}^{24,5} \sin \frac{\pi z}{24,5} dz = \\ &= A \cdot 0,001085 \end{aligned} \quad (2)$$

Получената стойност Δs е равна на допълнителното слягане на ръба на фундамента, което е определено на 0,006 m.

Следва уравнението за определяне на A:

$$0,001085A = 0,006, \quad (3)$$

от което се определя коефициентът A:

$$A = 5,53 \text{ kN/m}^2 \quad (4)$$

Сляганята на отделните пластове в зоната на активната мощност на слягане се получават, като се умножат площите на отделните интегрални по коефициента „A“:

$$\begin{aligned} \Delta s_1 &= A \cdot 0,000029 = 0,00016 \text{ m} \\ \Delta s_2 &= A \cdot 0,000208 = 0,0115 \text{ m} \\ \Delta s_3 &= A \cdot 0,00325 = 0,00179 \text{ m} \\ \Delta s_4 &= A \cdot 0,000371 = 0,00305 \text{ m} \\ \Delta s_5 &= A \cdot 0,000152 = 0,00084 \text{ m} \\ \Delta s_6 &= A \cdot 0,000006 = 0,000033 \text{ m} \end{aligned} \quad (5)$$

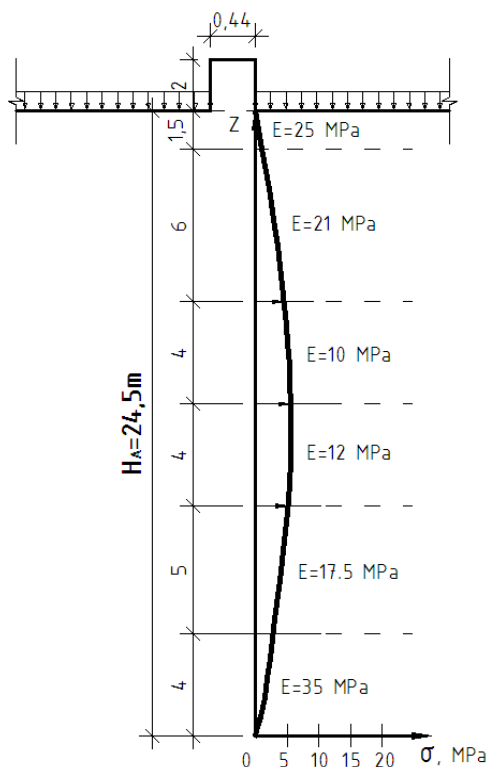
Както се вижда, най-голямо слягане показват пластове 2, 3 и 4, които имат най-ниски деформационни модули.

На фигура 5 е дадена схема на синусоидалното разпределение на напреженията под ръба на единия фундамент, създадени от съседния фундамент.

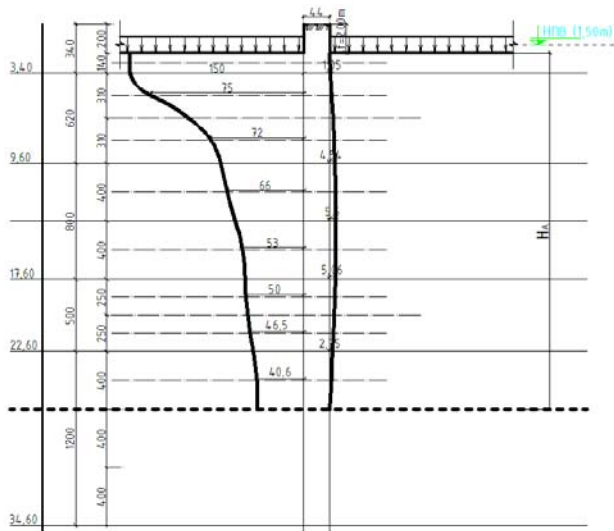
Съчетанието на двете напрежения под ръбовете на двата съседни фундамента е показано на фиг.6.

За да се предотврати взаимното завъртане на фундаментите, е необходимо двата фундамента да се свържат и връзката да се оразмери така, че да се уравни огъващите моменти, които предизвикват завъртането. За целта се използва формула за определяне на завъртане на фундаменти (БДС-ЕН, 1997). Постановката е, че за полученото завъртане на фундамен-

тите е необходим огъващ момент, получен от формулата – връзка между завъртане и огъващ момент (формула 6). За този огъващ момент се оразмерява връзката между двете силозни тела.



Фиг. 5. Схема на разпределение на напреженията (под форма на синусоида) под ръба на единия фундамент, създадени от натоварването на съседния фундамент



Фиг. 6. Диаграми на напреженията (определени по метода чрез синусоида) в ръбовете на съседните фундаменти, предизвикани от взаимодействието.

Като междинна стойност на наклоняването (завъртането), получена при измерването, се приема $tg\theta \approx \theta = 0,0003$. Използва се формулата за

завъртане на фундамент от действието на момент (БДС-EN, 1997):

$$tg\theta = \frac{1-\mu^2}{E} K \frac{M}{(b/2)^3} \quad (6)$$

където:

θ – завъртане на фундамента; μ - коефициент на Поасон за Пласт 1 (в който попада фундамента); E – деформационен модул, kN/m² (среднотегестна стойност за всички пластове); K – коефициент, който зависи от формата и размерите на фундамента (таблично определен); b – ширина на фундамента, m; M – огъващ момент, kNm.

$$0,000282 = \frac{1-0,3^2}{14838} \cdot 0,75 \cdot \frac{M}{12,35^3} \quad (7)$$

От решението на уравнението се получава огъващ момент $M=11560$ kNm (за цялата дължина на фундамента в зоната на връзката между двете тела). Това изисква съответната армировка в междинната връзка на фундаментите. Тази постановка и размерите на така определенения огъващ момент са приети и изпълнени при фундирането на силозни тела 4 и 5 на пристанище Бургас.

Изводи

Влиянието на съседните фундаменти е много по-малко от теоретично определените стойности, главно поради наличието на така нареченото силно стеснено „ветрило на напреженията“, което ограничава напреженията в страни от фундаментите до незначителни стойности. Това показва, че взаимодействието на близкоразположените фундаменти не следва да се определя по теорията за разпределение на напреженията, определени по закона на Бусинеск. Изводите и заключенията са приети при изпълнение на две близкоразположени силозни тела на пристанище Бургас.

Литература

- БДС - EN, 1997, Геотехническо проектиране. Част 1 и 2, 2004.
 СНиП 11-02-96, Приложение И „Определение физико-механических характеристик грунтов по результатам статического и динамического зондирования при инженерно-геологических изысканиях“, 2012. -105-108.
 Sanglerat G., *Le penetrometre et la reconnaissance des soils*, DUNOD PARIS, 1965. -98-131.

Статията е рецензирана от доц. д-р инж. Стефчо Стойнев и препоръчана за публикуване от кат. „Хидрогеология и инженерна геология“.