

GROUND DISPLACEMENTS CAUSED BY THE CONSTRUCTION OF DEEP EXCAVATIONS – MEASUREMENTS, CASE STUDIES, AND ANALYSIS

Ina Bojinova-Popova

University of Mining and Geology “St. Ivan Rilski”, 1700 Sofia; E-mail: ina.popova@mgu.bg

ABSTRACT. During the execution of excavations for underground construction works, especially under constrained urban conditions and in the presence of closely located buildings and infrastructure, as is typically the case in densely built urban areas, there is a significant risk of disturbances to the surrounding environment. These disturbances may be caused by deformations or damage to the ground surface as well as to adjacent buildings and structures due to the influence of the excavation works. This influence is mainly induced by displacements of retaining structures, ground settlements resulting from groundwater lowering, or other related factors. The present paper examines examples of ground displacements and their analyses at two sites in Bulgaria: an excavation with a depth of 18 m located in Pozitano Street, Sofia, and an excavation with a depth of 15 m located at St. St. Cyril and Methodius Square in Burgas.

Key words: ground displacement, monitoring, deep excavations, retaining structures, analysis.

ПРЕМЕСТВАНИЯ НА ТЕРЕНА ВСЛЕДСТВИЕ ИЗГРАЖДАНЕ НА ДЪЛБОКИ ИЗКОПИ – ИЗМЕРВАНИЯ, ПРИМЕРИ И АНАЛИЗ

Ина Божинова-Попова

Минно-геоложки университет „Св. Иван Рилски“, 1700 София

РЕЗЮМЕ. При изпълнението на изкопите за нуждите на подземното строителство на подземни съоръжения в стеснени условия, при наличието на близко разположени сгради и съоръжения, каквито са обикновено случаите в застроената градска част, съществува опасност от нарушения на околното пространство, породени от деформации или разрушения на теренната повърхност и прилежащите сгради и съоръжения, вследствие влиянието на изкопите. Това влияние се предизвиква от премествания на укрепителните конструкции, слягания на терените вследствие на водопонижения или по други причини. В статията са разглеждат примери за премествания на терена и анализи към тях на два обекта в България: изкоп с дълбочина 18 m на ул. „Позитано“, гр. София и на изкоп с дълбочина 15 m на площад „Св. Кирил и Методий“ в гр. Бургас.

Ключови думи: преместване, измерване, дълбоки изкопи, укрепителни съоръжения, анализ.

Въведение

Перспективите на съвременното строителство са насочени към овладяването на подземните пространства на градската среда. Използването на подземните пространства се налага поради тенденциите за по-плътното застрояване на градовете, липса на възможности за прокарване на надземни комуникации и създаване на допълнителни площи за подземни паркинги и многоетажни подземни етажи, които са необходими за обслужване на живеещите и работещите в централните градски части. Тук следва да се посочи и метростроителството, което е най-типичния пример за подземно строителство.

Понякога повредите в съседните сгради и съоръжения се дължат и на подземното прокарване на конструкции, например при тунелни изработки, вследствие образуването на така наречените мулди на повърхността. Мулдите могат да се дължат на взаимодействието на тунели и ограждащото почвено пространство още в еластичния стадий, или поради разрушителни процеси в околния масив, вследствие пораждаването на недопустими тангенциални напрежения в определени части от масива.

Изложение

Успоредно с развитието на подземното строителство в урбанизираните територии, се разработват и теории и се извършва наблюдение за влиянието на изкопите върху околните сгради и съоръжения. Едни от най-значителните изследвания, основани на наблюдения са направени в Германия (U Baan Referat, 1980). Извършени са прецизни

измервания върху деформациите на терените в съседство с изкопите, при което са направени сравнения с изчислителните постановки на задачата. Резултатите са публикувани в специален каталог.

Като извод от тези измервания се посочва, че дължината на участъка от терена, на който се получава преместванията, е значителна и превишава разстоянието, което се приема, че се определя от горния ръб на призмата на обрушване съгласно закона на Coulomb. По опростения вид на клина, който се обрушва при активиране на земния натиск, горния му ръб се определя от ъгъла на откоса спрямо хоризонталата $\theta = 45^\circ + \varphi/2$. Обикновено този ъгъл е около 55° . Спрямо хоризонталата, ъгълът е $45^\circ - \varphi/2$ и това е обикновено ъгъл от 35° . Определено по този начин, максималното разстояние, което е застрашено от премествания при изкопи е $h \cdot \tan 35^\circ$, или 0,7 h.

Основният извод при това измерване е, че най-малкото разстояние от горния ръб на откосите при дълбоките изкопи, на което се проявява преместването на терена, е 1,5 до 2 пъти дълбочината на изкопа.

Анализирани са и премествания на терена в различни етапи на изпълнението на изкопи с анкерно укрепяване.

При дълбочина на изкопите 25 m е получено слягане на повърхността на терена до 25 mm, което е значително и недопустимо, ако в близост има изградени сгради. Това е още една индикация, че в околното пространство, засегнато от влиянието на дълбоките изкопи попадат сгради и съоръжения на много по-голямо разстояние, отколкото определените по теорията за земния натиск и постановките на Кулман.

Правени са и подобни теоретични изследвания за преместване на терените при дълбоки изкопи с цел да се

установи зависимост за определяне на сляганята на сградите в близост до тях, което включва параметри като: тегло на сградата, коравината ѝ, отдалеченост от изкопа, дълбочина на изкопа и деформируемост на почвата.

Изследвания при строителството в България

Измервания и изследвания за влияние на дълбоките изкопи върху околното пространство са правени при някои от метростанциите на Софийското метро, както и за други изкопи в София и Бургас.

Като примери се посочват измерванията и анализите към тях на два обекта в България: изкоп с дълбочина 18 m на ул. „Позитано“ и на изкоп с дълбочина 15 m на площада “Св. Св. Кирил и Методий” в гр. Бургас.

Премествания на терена при изкопите за обект: сграда на ул. „Позитано“, кв. 259, м. "Центъра", р. "Триадица"

За установяване на деформацията и напрегнатото състояние на анкерирани шлицови стени, използвани като укрепителни конструкции на изкоп с дълбочина 18 m, са направени измервания на преместванията на стените по време на изкопите и след тяхното завършване. Измерванията са направени с инклинометър, който се вкарва периодично в специални тръби, бетонирани в шлицовите стени. По наклоните на инклинометъра, които се изменят в зависимост от преместванията на стените, посредством специален софтуер се определя преместването на различни точки от стените, включително и в частта им под дъното на изкопа. На 10 броя от анкерите са поставени динамометри за установяване на силите в тях. Динамометрите се поставени на различни дълбочини така, че да дават информация за налягането на анкерите по цялата дълбочина на шлицовите стени.

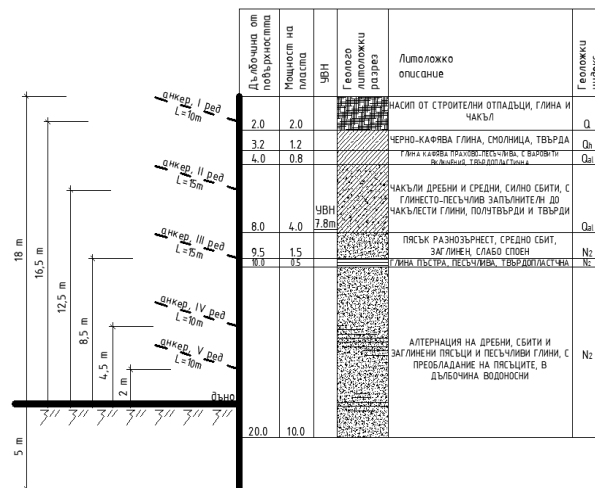
Дълбочината на изкопа е 18 m. Укрепителната конструкция е от шлицови стени с дебелина 60 cm. Връзките между стените е с фугови полутръби. Стените са анкерирани на 4 и 5 нива. Анкерите са с дължини 10 m – най-горните анкери и 15 m – при по-дълбоките анкери. Анкерите са напрегнати само с гаечен ключ до сили 40 – 50 kN.



Фиг. 1. Снимка на откопания изкоп за сграда на ул. „Позитано“ в гр. София, укрепен с анкерирани шлицови стени

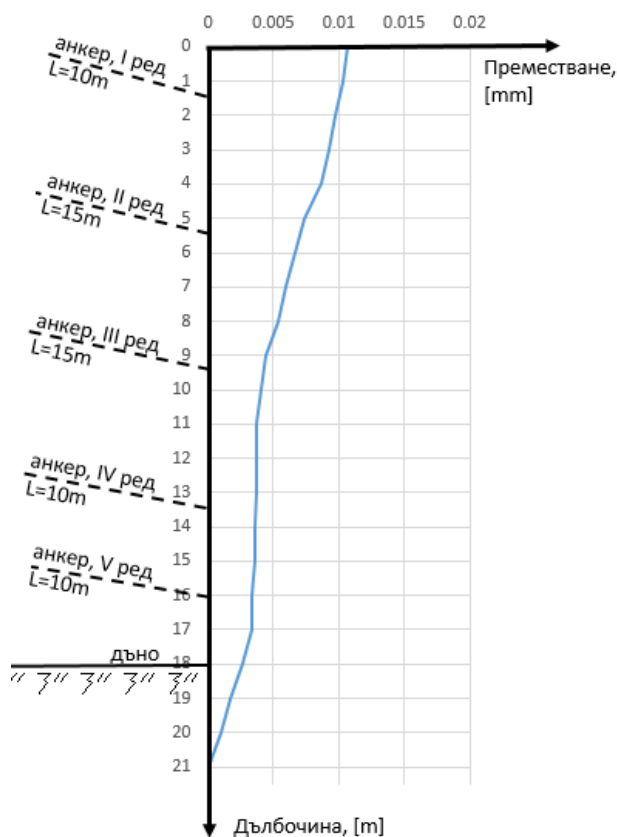
Освен динамометри в анкерите, поставени са и репери за следене на преместванията на стените. При дълбочини на изкопите до 18 m, анкерите не са получили допълнителни сили. Преместванията на горния край на стените са определени по геодезичен път.

Снимка на откопания изкоп при това укрепване е показана на фиг. 1. На фиг. 2 е показана схема на укрепването, заедно с геоложкия профил на терена.



Фиг. 2. Схема на укрепването и литоложка колонка на терена. (Проект за укрепване стените на строителен изкоп за подземни гаражи на пл. „Св. Св. Кирил и Методий“ – гр. Бургас - фирма „Грунд 1“ ООД, 2012.)

Линията на деформираното състояние на шлицовата стена е показана на фиг. 3.



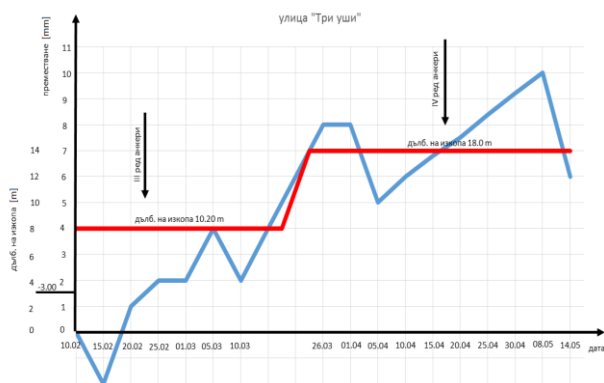
Фиг. 3. Линия на деформираното състояние на шлицовата стена и таблица със стойности на преместванията в дълбочина

Измереното максимално преместване на стената е 10,7 mm – при терена. В таблица 1 са дадени преместванията на различни точки от дълбочината на стената, също така и под дъното на изкопа.

Таблица 1.

Дълбочина [m]	Преместване [m]
0. точка	$10,7 \cdot 10^{-3}$
1. точка	$10,3 \cdot 10^{-3}$
2. точка	$9,7 \cdot 10^{-3}$
3. точка	$9,3 \cdot 10^{-3}$
4. точка	$8,7 \cdot 10^{-3}$
5. точка	$7,35 \cdot 10^{-3}$
6. точка	$6,7 \cdot 10^{-3}$
7. точка	$6 \cdot 10^{-3}$
8. точка	$5,3 \cdot 10^{-3}$
9. точка	$4,4 \cdot 10^{-3}$
10. точка	$4,1 \cdot 10^{-3}$
11. точка	$3,75 \cdot 10^{-3}$
12. точка	$3,7 \cdot 10^{-3}$
13. точка	$3,65 \cdot 10^{-3}$
14. точка	$3,6 \cdot 10^{-3}$
15. точка	$3,6 \cdot 10^{-3}$
16. точка	$3,4 \cdot 10^{-3}$
17. точка	$3,3 \cdot 10^{-3}$
18. точка	$2,7 \cdot 10^{-3}$
19. точка	$1,7 \cdot 10^{-3}$
20. точка	$1 \cdot 10^{-3}$
21. точка	$0 \cdot 10^{-3}$

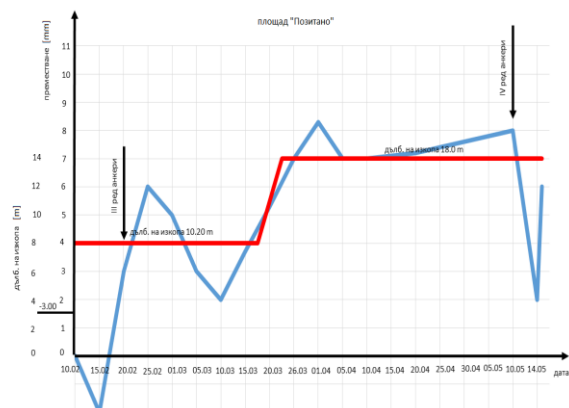
На фиг. 4 и 5 са показани премествания на шлицовите стени при терена, мерени на две прилежащи улици. На графиките със сини линии са дадени измервания на премествания на отделни точки, които са осреднени с плътни червени линии. Над плътните линии са означени дълбочините на изкопа, за които са осреднени измерванията – първата отсечка – при дълбочина на изкопа 10, 20 m и втората отсечка – при дълбочина на изкопа 18 m.



Фиг. 4. Графика на измерените премествания във времето на шлицовите стени на ул. „Три уши“.

Както се вижда от графиките, при дълбочини на изкопа 10, 20 m осредненото преместване на укрепителната ограда е само 4 mm и при дълбочина на изкопа 18 m – 7 mm,

което е нищожно, като се има предвид достигнатата дълбочина. По тази причина направените изкопи не са се отразили на състоянието на съседните сгради, някои от които отстоят само на 11 метра от изкопа. Прави впечатление и фактът, че анкерите са много къси – дължини 10 и 15 m и при всички предпоставки на теорията на укрепяване, попадат в клина на разрушение на почвата, но въпреки това изпълняват своите функции.



Фиг. 5. Графика на измерените премествания във времето на шлицовите стени на ул. „Позитано“.

Необичайно малкото преместване на оградите и ненапрягането на анкерите по време на строителството показват, че по-гъсто разположените анкери изменят напрегнатото състояние на околния масив, което е свързано и с намаляване на тангенциалните напрежения в масива и със съответно намаляване на земния натиск. Може да се разглежда и вариант, при който, укрепителните конструкции, заедно с анкерите, могат да се приемат като масивна и дебела подпорна стена. Тази теза подлежи на допълнително доказателство.

Измервания на преместванията на горния край на стените при укрепителните огради на подземен паркинг на площад „Св. Св. Кирил и Методий“, гр. Бургас

За този обект укрепителната ограда е от секантни пилоти с диаметър 88 cm (Проект за укрепване стените на строителен изкоп за подземни гаражи на пл. „Св. Св. Кирил и Методий“ – гр. Бургас - фирма „Грунд 1“ ООД, 2012.). Подпирането е на 4 нива анкери, тип T76N. Дължините на анкерите са 24 m за най-горния ред и надолу – 20 m и 16 m. Въз основа на опита (сградата на Позитано), анкерите са напрегнати само с гаечен ключ до 40 – 50 kN. Изчислените и очаквани премествания на участъка от оградата до училището, което отстои само на 4 m от нея, са дадени в таблица 2.

Ситуация на оградата с местата на определяне на преместванията са дадени на фиг. 6 (Проект за укрепване стените на строителен изкоп за подземни гаражи на пл. „Св. Св. Кирил и Методий“ – гр. Бургас - фирма „Грунд 1“ ООД, 2012.)

Таблица 2. Изчислените и очаквани премествания на участъка от оградата до училището на пл. „Св. Св. Кирил и Методий“, гр. Бургас.

Строително състояние	Премествания в сантиметри				
	глава пилот	Анкери			
		1 ред	2 ред	3 ред	4 ред
1. Откопано до 5 m и изпълнен 1-ви ред анкери	1,08 cm	0,86 cm	-	-	-
2. Откопано до 8,5 m	1,2 cm	1,1 cm	1,17 cm	-	-
3. Откопано до 11,5 m	0,5 cm	0,9 cm	1,3 cm	1,9 cm	-
4. Откопано до 15 m	1 cm	0,9 cm	0,99 cm	1,3 cm	1,6 cm

На фиг. 7, 8 и 9 са приложени диаграми на измерените премествания за т. 2, т. 3 и т. 4 от приложената ситуация на фиг. 6.

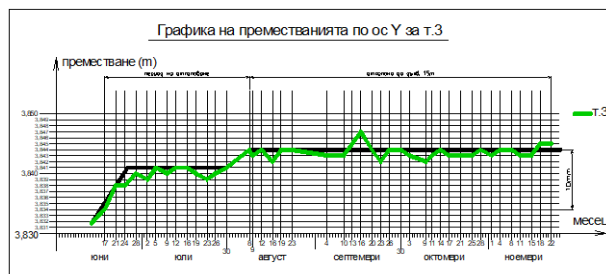
Както се вижда от приложените диаграми, максималното преместване на стените е 10 mm (има и преместване 7 mm). Преместванията са малко по-малки от прогнозните резултати – максимални премествания 12 mm. Съпадението обаче е добро, което е свидетелство за верност и приложимост на метода (Божинов, Попов, 2016) за изследване на преместванията на укрепителните конструкции.



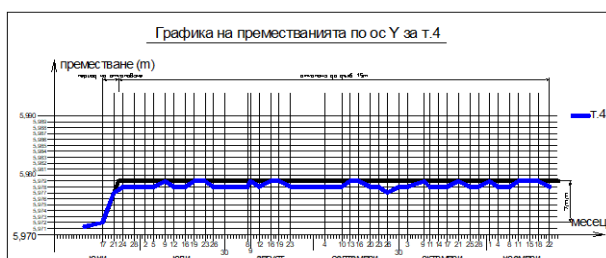
Фиг. 6. Ситуация на оградата на изкопа с местата на определяне на преместванията



Фиг. 7. Диаграми на измерените премествания на ръба на изкопа, в близост до училището за т. 2



Фиг. 8. Диаграми на измерените премествания на ръба на изкопа, в близост до училището за т. 3.



Фиг. 9. Диаграми на измерените премествания на ръба на изкопа, в близост до училището за т. 4.

Преместванията не са засегнали сградата на училището. Получени са известни слягания на пода в сутерена и козметични пукнатини, без засягане на носещи конструкции. Тези минимални премествания се дължат на водопонижението в терена при изпомпване на води от строителния изкоп.

Заклучение

Получените данни показват, че освен прогнозни резултати, трябва да се изпълняват геодезически наблюдения за определяне на евентуални слягания и хоризонтални премествания на съседните конструкции и терени. Навременните данни могат да осигурят своевременно усиление на земната основа на фундаментите на някои сгради, когато се получат слягания до 3 - 4 mm. Въз основа на данните от мониторинга, който ще бъде извършен, сляганията могат да се прогнозират с достатъчно висока точност.

В зависимост от начина на проявяване на недопустимите премествания или разрушения на околните почвени масиви, могат да настъпят значителни повреди и дори разрушения в съседни терени и конструкции, понякога с фатален край. В някои случаи се налага събаряне на

повредените сгради, а в други случаи - реконструкции, които могат да струват много скъпо.

Използвани проекти

Проект за укрепване стените на строителен изкоп на офис сграда с магазини и подземни гаражи – ул. „Позитано“ – фирма „Грунд 1“ ООД, София, 2006

Проект за укрепване стените на строителен изкоп за подземни гаражи на пл. „Св. Св. Кирил и Методий“ – гр. Бургас - фирма „Грунд 1“ ООД, 2012

Литература

Божинов, Б., (2013). Опазване на сгради и съоръжения в околното пространство при подземното строителство на транспортни съоръжения, *"Фонд научни изследвания"*, София.

Божинов, Б. А.; Попов, С. (2016). *Изчисляване на пилоти, шлицови и щпунтови стени, натоварени с хоризонтални сили и огъващи моменти*, София.

Божинов, Б. А.(1983). Оразмеряване на укрепителни огради на дълбоки изкопи, *сп. „Строителство“*, бр.9/1983
U Baan Referat – Linie 8/1, 1980