

## ЗОНА ВЛИЯНИЯ ПРИ ОТКОПКЕ ГЛУБОКИХ КОТЛОВАНОВ В СЛАБЫХ ГРУНТАХ

### IMPACT ZONE OF DEEP PIT EXCAVATION IN WEAK SOILS

*Н.С. НИКИФОРОВА, НГUYEN VAN HOA, A.V. KONNOV*  
*N.S. NIKIFOROVA, NGUYEN VAN HOA, A.V. KONNOV*

(Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук,  
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет)  
(Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences,  
Moscow State (National Research) University of Civil Engineering)  
E-mail: n.s.nikiforova@mail.ru

*Проводится сопоставление размеров зоны влияния, полученных численным моделированием с использованием двух грунтовых моделей (Mohr-Coulomb и Hardening Soil) при откопке глубоких котлованов с тремя видами распорной системы (анкера, распорки или железобетонные перекрытия) в слабых грунтах: мягкопластичных суглинках и рыхлых пылеватых песках, а также в плотных песках, и их рекомендуемых нормативных значений, полученных на основе натурных наблюдений. Рассматривается влияние сейсмических воздействий на величину радиуса зоны влияния при откопке глубокого котлована в слабых грунтах, характерных для Вьетнама.*

*The paper provides comparison between calculated sizes of impact zone and their normative values obtained by geodetic measurements for deep pit excavations in weak soils. Calculation was done by modelling of deep pit excavated in weak soils (soft-firm lean clay, loose silty sand) or dense sands and braced with one of three support types: anchors, struts or reinforced slabs. Two soil models were used: Mohr-Coulomb and Hardening Soil. The influence of seismic activity on size of the impact zone was considered for a deep pit excavation in weak soils of Vietnam.*

**Ключевые слова:** радиус зоны влияния, глубокий котлован, слабые грунты, сейсмические воздействия.

**Keywords:** radius of impact zone, deep pit, weak soils, seismic impact.

Необходимость учитывать размер зоны влияния при подземном строительстве, в том числе для предприятий текстильной промышленности, вызвана обязательным требованием определять область геотехнического моделирования с целью назначения защитных мероприятий для окружающей застройки, а также зону проведения геотехнического мониторинга.

Одним из вопросов, требующих уточнения при подземном строительстве в слабых грунтах, является назначение размеров зоны влияния откопки глубоких котлованов. Сог-

ласно п. 2 Примечаний к п. 9.34 СП 22.13330.2016 радиус зоны влияния  $r_{зв}$  нового строительства или реконструкции ограничивается расстоянием от границы котлована, при котором дополнительная расчетная осадка не превышает 1 мм. В п. 9.36 того же СП указаны предварительные значения  $r_{зв}$  для котлованов с различными ограждающими и распорными конструкциями, определенные из результатов натурных наблюдений за осадками и, следовательно, учитывающие технологические осадки. Данные наблюдения проводили в инженерно-геоло-

гических условиях г.Москвы [1], где слабые грунты представлены мягкопластичными и текучепластичными глинистыми грунтами и рыхлыми водонасыщенными песками. П.4 Примечаний к п. 9.34 СП 22.13330.2016 гласит о необходимости учитывать местный опыт проектирования при определении размеров зоны влияния подземного строительства на территориях распространения специфических грунтов, который до сих пор не конкретизирован.

В целях сопоставления размеров зоны влияния откопки глубоких котлованов, рекомендованных п. 9.36 СП 22.13330.2016, и соответствующих прогнозных величин при подземном строительстве в слабых грунтах была выполнена серия численных расчетов в программном комплексе PLAXIS 2D V8.2 [2].

При проведении численных исследований с использованием двух моделей грунта: Mohr-Coulomb (MC) и Hardening Soil (HS),

рассматривался котлован шириной 20 м, глубиной 9 и 12 м, огражденный "стеной в грунте", толщиной 0,8 м, часто применяемой при строительстве в слабых водонасыщенных грунтах. Расчеты проводились для слабых грунтов: суглинков мягкопластичных ( $C = 15$  кПа,  $\varphi = 20$  град,  $E = 7$  МПа) и рыхлых пылеватых песков ( $C = 10$  кПа,  $\varphi = 18$  град,  $E = 12$  МПа), а также для сравнения полученных результатов – для крупных плотных песков ( $C = 2$  кПа,  $\varphi = 38$  град,  $E = 41$  МПа).

Табл. 1 содержит расчетные значения относительной величины радиуса зоны влияния для котлованов глубиной 9 и 12 м для трех типов грунтовых условий и трех видов распорной системы ограждения котлована в виде "стены в грунте", а табл. 2 – сопоставление расчетного радиуса зоны влияния  $r_{зв}$  с рекомендованным СП 22.13330.2016 его нормативным значением  $r_{звн}$ .

Т а б л и ц а 1

H <sub>к</sub> , м	Тип распорной системы	r <sub>зв</sub> /H <sub>к</sub>						r <sub>звн</sub> * <sup>*</sup>
		суглинок мягкопластичный		рыхлый пылеватый песок		плотный крупный песок		
		Модель грунта						
		MC	HS	MC	HS	MC	HS	
9,0	Распорная система из труб	4,3	3,77	4,88	3,77	2,55	1,55	3H <sub>к</sub>
	Железобетонные перекрытия (top-down)	2,66	3,22	2,33	3,33	2,1	1,6	2H <sub>к</sub>
	Анкера	-	6,22	-	7	1,91	3,1	5H <sub>к</sub>
12,0	Распорная система из труб	2,33	3,41	3,41	3,33	1,83	1,5	3H <sub>к</sub>
	Железобетонные перекрытия (top-down)	2,0	3,16	2,08	2,58	1,66	1,83	2H <sub>к</sub>
	Анкера	-	6,91	-	6,58	1,91	3,25	5H <sub>к</sub>

П р и м е ч а н и е. r<sub>зв</sub> – расчетный радиус зоны влияния; r<sub>звн</sub>\* – r<sub>зв</sub> по п. 9.36 СП 22.13330.2016; H<sub>к</sub> – глубина котлована, м.

Сопоставление относительных радиусов зоны влияния r<sub>зв</sub>/H<sub>к</sub> для пылеватого рыхлого песка при разных видах крепления

ограждения котлована показано на рис.1, для суглинка мягкопластичного – на рис.2 (H<sub>к</sub> = 9 м).

Т а б л и ц а 2

H <sub>к</sub> , м	Тип распорной системы	r <sub>зв</sub> /r <sub>звн</sub> * <sup>*</sup>					
		суглинок пластичный		рыхлый пылеватый песок		плотный крупный песок	
		Модель грунта					
		MC	HS	MC	HS	MC	HS
9,0	Распорная система из труб	1,43	1,26	1,63	1,26	0,85	0,52
	Железобетонные перекрытия (top-down)	1,33	1,61	1,11	1,67	1,00	0,80
	Анкера	-	1,24	-	1,4	0,38	0,62
12,0	Распорная система из труб	0,78	1,14	1,14	1,11	0,61	0,5
	Железобетонные перекрытия (top-down)	1,0	1,58	1,04	1,29	0,83	0,91
	Анкера	-	1,38	-	1,32	0,38	0,65

П р и м е ч а н и е. r<sub>зв</sub> – расчетный радиус зоны влияния; r<sub>звн</sub>\* – r<sub>зв</sub> по п. 9.36 СП 22.13330.2016; H<sub>к</sub> – глубина котлована, м.

На рис. 1 показана зона влияния котлована ( $H_k=9$  м) при трех типах крепления в песке пылеватом рыхлом.

На рис. 2 представлено сравнение расчетных относительных величин  $r_{зв}/H_k$  зоны влияния со значениями по СП 22.13330.2016 в суглинке ленточном мягкопластичном при  $H_k=9$  м: 1 – расчетные величины, 2 – значения по СП 22.13330.2016.

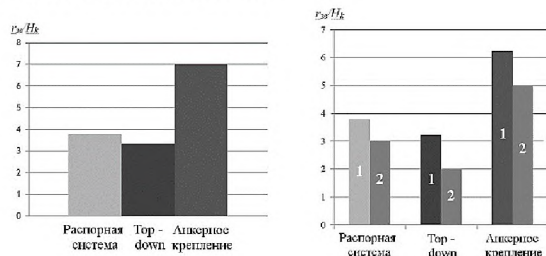


Рис. 1

Рис. 2

Графическая интерпретация полученных результатов для  $H_k = 12$  м для трех типов грунтовых условий и трех видах распорной системы представлена на рис. 3 (сравнение относительных величин  $r_{зв}/H_k$  зоны влияния котлована ( $H_k=12$  м) для трех типов грунтовых условий: 1 – песок крупный плотный, 2 – суглинок ленточный мягкопластичный, 3 – песок пылеватый рыхлый водонасыщенный).

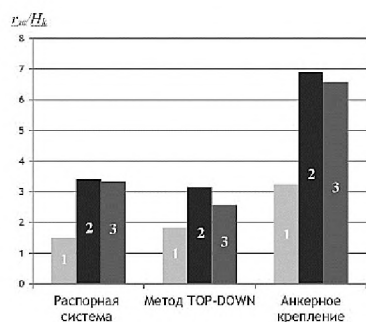


Рис. 3

Анализируя данные таблиц и графиков, можно отметить следующее. Для плотных песков расчетная величина меньше нормативной  $r_{зв} < r_{зв.н}$  на 10...40%. Это можно объяснить тем, что  $r_{зв.н}$  определялось по натурным измерениям с учетом технологической осадки. В то же время расчетное значение радиуса зоны влияния без учета технологической осадки превышает на 20...60% рекомендуемое СП значение  $r_{зв.н}$  при  $H_k = 9,0$  и

$H_k = 12$  м для слабых глинистых грунтов и рыхлых песков при расчетах по обеим моделям, что коррелируется с положением о большей распределительной способности слабых грунтов по сравнению с плотными грунтами.

При назначении размеров зоны влияния в слабых грунтах при откопке глубоких котлованов необходимо учитывать технологическую осадку, вызванную устройством "стены в грунте", величина которой может достигать 63 мм [3], а  $r_{зв}/H_k = 5$  [4].

В литературе отсутствуют исследования влияния сейсмических воздействий на величину  $r_{зв}$  при откопке глубоких котлованов. В то же время строительство подземных сооружений во Вьетнаме, в том числе для предприятий текстильной промышленности, которая составляет значительную долю легкой промышленности страны, сопряжено с необходимостью учитывать наличие большой толщи слабых водонасыщенных грунтов и сейсмические воздействия (сейсмичность территории г. Ханой соответствует 7 и 8 баллам шкалы MSK-64) [5].

Результаты численного моделирования, выполненные в программе PLAXIS 2D с использованием модели MC, показали, что при учете сейсмических воздействий для котлована глубиной 10,5 м, огражденного "стеной в грунте" толщиной 0,8 м, в слабых глинистых грунтах (суглинки с характеристиками  $c=14...16$  кПа,  $\varphi=11...14$  град,  $E=5...6$  МПа) величина  $r_{зв}/H_k$  составила 3,3 и 2,5 для распорной системы в виде металлических труб, а также анкеров и железобетонных перекрытий соответственно (рис.4 – осадки в зоне влияния котлована ( $H_k=10,5$  м) в слабых глинистых грунтах с учетом сейсмических воздействий во Вьетнаме при распорной системе: 1 – железобетонные перекрытия, 2 – распорки, 3 – анкера).

При расчетах без учета сейсмических воздействий для анкеров и распорок  $r_{зв}/H_k > 6,0$ ; для железобетонных перекрытий –  $r_{зв}/H_k = 3,8$ . Технологические осадки при расчетах не учитывались. Учет сейсмических воздействий показал снижение размеров зоны влияния откопки глубоких котлованов, при этом осадки поверхности возросли на 60%.

## ВЫВОДЫ

1. На основе численных расчетов определены размеры зоны влияния откопки глубоких котлованов в стесненной городской застройке в условиях залегания слабых грунтов, в том числе с учетом сейсмических воздействий, характерных для Вьетнама.

2. Доказано, что зона влияния устройства подземных частей зданий и сооружений в слабых глинистых грунтах и рыхлых песках превышает ориентировочные нормативные значения.

3. Для уточнения размеров зоны влияния при откопке глубоких котлованов в слабых грунтах требуется обобщение результатов натуральных наблюдений, в том числе при определении величин технологических осадок при подземном строительстве.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Никифорова Н.С. Деформации зданий вблизи глубоких котлованов и подземных выработок в условиях тесной городской застройки и методы защиты: Дис. ...докт. техн. наук. – М., 2008.

2. Шабеев А.Ю. Оценка зоны влияния от нового строительства в слабых грунтах. – М.: НИУ МГСУ, 2017.

3. Шулятьев О.А., Мозгачёва О.А., Минаков Д.К., Соловьёв Д.Ю. Определение технологических осадок фундаментов близлежащих зданий при устройстве стены в грунте, грунтовых анкеров и буринъекционных свай //Academia. Архитектура и строительство. – 2016, №4. С.129...140.

4. Мангушев Р.А., Никифорова Н.С. Технологические осадки в зоне влияния подземного строительства. – М.:АСВ, 2017.

5. Никифорова Н.С., Нгуен В.Х. Учет особенностей инженерно-геологических условий при освоении подземного пространства Вьетнама // Сб. тр. Всерос. научн.-техн. конф.: Инженерно-геологические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений. – СПб, 2017. С.277...281.

## REFERENCES

1. Nikiforova N.S. Deformacii zdaniy vblizi glubokih kotlovanov i podzemnyh vyrabotok v uslovijah tesnoj gorodskoj zastrojki i metody zashhity: Dis....dokt. tehn. nauk. – M., 2008.

2. Shabaev A.Ju. Ocenka zony vlijaniya ot novogo stroitelstva v slabyh gruntah. – M.: NIU MGSU, 2017.

3. Shuljatev O.A., Mozgachjova O.A., Minakov D.K., Solovjov D.Ju. Opredelenie tehnologicheskikh osadok fundamentov blizlezhashhih zdaniy pri ustrojstve steny v grunte, gruntovyh ankerov i buroin"ekcionnyh svaj //Academia. Arhitektura i stroitelstvo. – 2016, №4. S.129...140.

4. Mangushev R.A., Nikiforova N.S. Tehnologicheskie osadki v zone vlijaniya podzemnogo stroitelstva. – M.:ASV, 2017.

5. Nikiforova N.S., Nguen V.H. Uchet osobennostej inzhenerno-geologicheskikh uslovij pri osvoenii podzemnogo prostranstva Vetnama // Sb. tr. Vseros. nauchn.-tehn. konf.: Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya, proektirovanie i stroitelstvo osnovanij, fundamentov i podzemnyh sooruzhenij. – SPb, 2017. S.277...281.

Рекомендована Ученым советом НИИСФ РААСН. Поступила 18.06.18.