

## **ВЗАИМНОЕ ВЛИЯНИЕ БЛИЗКО РАСПОЛОЖЕННЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

**В. В. Леденёв, Тью Тхи Хоанг Ань**

*ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов*

*Рецензент д-р техн. наук, профессор В. П. Ярцев*

**Ключевые слова:** буронабивные, нагруженные и ненагруженные фундаменты; влияние фундаментов; внецентренные вертикальные силы; деформирование основания; перемещения; экспериментальные и расчетные данные.

**Аннотация:** Теоретически и экспериментально исследовано взаимное влияние нагруженного фундамента на ненагруженный при действии вертикальной внецентренной силы. Определены зависимости между влияющими параметрами при действии на один цилиндрический фундамент вертикальной внецентренной силы, а другой оставался ненагруженным. Проведено сравнение экспериментальных данных с расчетными, выполненными по комплексу Plaxis 8х. Установлены причины расхождения опытных и расчетных данных.

Под нагруженными фундаментами, зданиями и сооружениями образуются осадочные «воронки», вызывающие дополнительные перемещения близко расположенных фундаментов, конструкций (например, стен), зданий и сооружений [1, 2].

Дополнительные (от взаимного влияния) перемещения фундаментов (осадка  $s$ ; горизонтальные перемещения  $u_x, u_y$ ; крены  $i_x, i_y$ ) увеличивают относительную неравномерность с возможным превышением предельно допустимых величин [1 – 3] и появлением разного рода повреждений или разрушений.

Близко расположенные фундаменты отличаются формой, размерами, заглублением, жесткостью, конструкцией сопряжения с надземными частями здания, величинами нагрузок и характером их воздействия, расстояниями по осям, наличием или отсутствием пола.

Известные способы оценки взаимного влияния фундаментов, основанные на разных моделях грунтовых оснований [2, 4], приводят к значительным расхождениям с опытными данными. Часто рассматривают фундаменты мелкого заложения, нагруженные осевой вертикальной силой.

---

Леденев Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструкции зданий и сооружений»; Тью Тхи Хоанг Ань – аспирант кафедры «Конструкции зданий и сооружений», e-mail: chuhoanganh2607@yahoo.com, ТамбГТУ, г. Тамбов.

Целью работы является теоретическое определение функций влияния близко расположенных фундаментов и сравнение их с данными лабораторных экспериментов [2].

*Методика экспериментов.* Опыты проводили в пространственном стальном лотке с металлическими моделями фундаментов. Основанием моделей фундаментов являлся мелкозернистый послойно уплотненный маловлажный песок со следующими начальными характеристиками: угол внутреннего трения  $\varphi = 28^\circ$ ; удельное сцепление  $c = 3$  кПа; коэффициент трения  $f = 0,03$  МПа; модуль деформации  $E = 33$  МПа; плотность грунта  $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup>; диаметр моделей  $d = 10$  см; относительное заглубление  $\lambda = h/d = 2$ , где  $h$  – заглубление модели. Усилие  $F$ , кН, на модель передавали рычагом с десятикратным увеличением ступенями до разрушения основания. Вертикальную силу прикладывали с относительными эксцентриситетами  $e_0 = e/R = 0; \pm 0,25; \pm 0,5$  ( $R$  – радиус сечения модели). Расстояние между осями фундаментов  $L$  изменяли, принимая равным  $2d, 3d, 4d$ , то есть  $\bar{L} = L/d$  соответственно 2, 3, 4. Определяли осадку центра фундамента в уровне поверхности  $s$ , горизонтальное перемещение  $u$  и крен модели  $i$ .

*Результаты исследования.* Характер деформирования основания изучали с помощью программы Plaxis 8х. Упругая модель среды одинаково сопротивляется сжатию и растяжению. В реальных условиях сопротивление грунта растяжению близко нулю. Вследствие этого картины деформирования (рис. 1, 2) более подходят к связной среде.

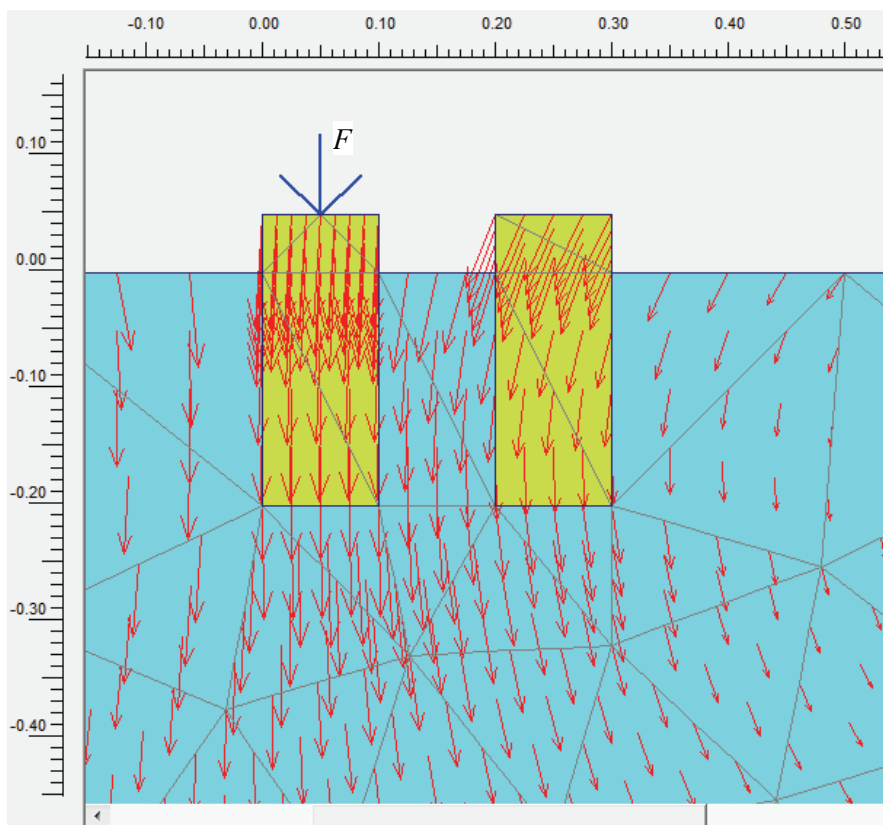


Рис. 1. Векторные линии полных перемещений точек грунтовой среды при  $d = 10$  см;  $\lambda = 2$ ;  $\bar{L} = 2$ ;  $e_0 = 0$ ;  $F = 34$  кН

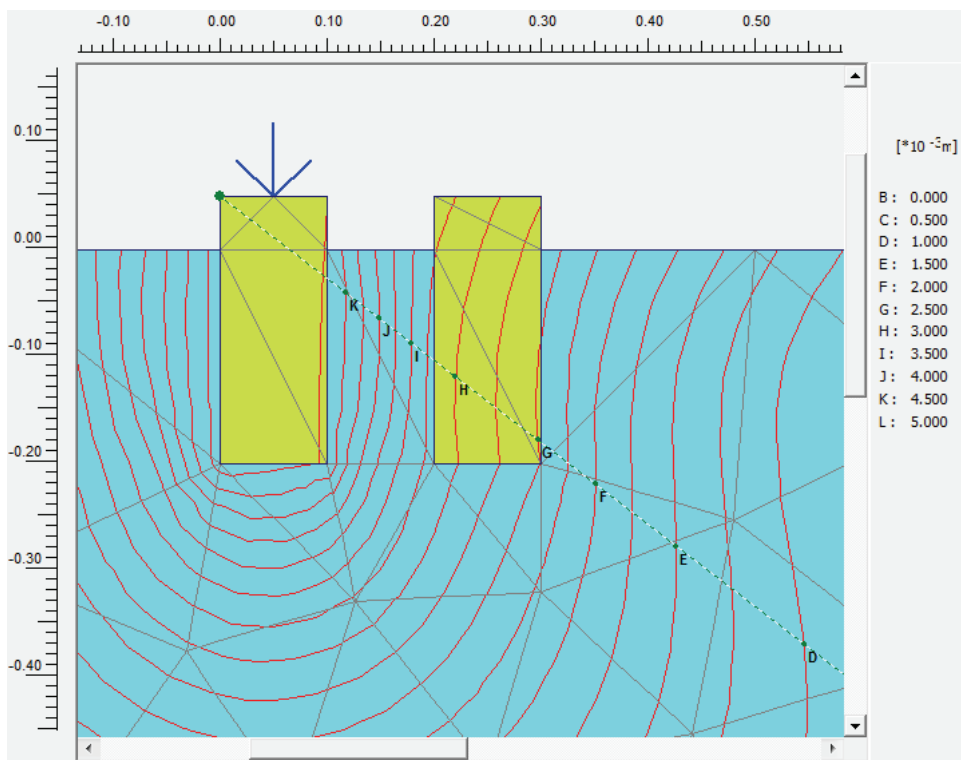


Рис. 2. Картина линий равных полных перемещений основания среды при  $d = 10$  см;  $\lambda = 2$ ;  $\bar{L} = 2$ ;  $e_0 = 0$ ;  $F = 34$  кН

Опытные значения перемещений ненагруженного фундамента незначительны по сравнению с нагруженными (меньше 23 % – табл. 1). Но расчетные осадки ненагруженного фундамента достигают 25 – 62 % от нагруженного. Результаты сравнения перемещений фундаментов приведены в табл. 1 – 3.

Таблица 1

### Экспериментальные данные

$\bar{L}$	$e_0$	$F$ , кН	Перемещения $s$ , $u$ , мм, центра сечения моделей и крен $i$								
			нагруженных			ненагруженных			относительные величины		
			$s_1$	$u_1$	$i_1 \cdot 10^2$	$s_2$	$u_2$	$i_2 \cdot 10^2$	$s_2/s_1$	$u_2/u_1$	$i_2/i_1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	0,00	34	10,16	-6,45	12,7	1,40	0,91	-1,75	0,14	-0,14	-0,14
	0,00	39	13,00	-8,13	16,06	2,10	1,86	-2,72	0,16	-0,23	-0,17
	0,25	34	12,60	-7,75	15,2	2,60	1,70	-3,25	0,21	-0,22	-0,21
	0,25	39	14,02	-8,96	17,52	3,10	2,03	-3,87	0,22	-0,23	-0,22
	0,50	34	19,16	-12,17	23,95	3,50	2,20	-4,37	0,18	-0,18	-0,18
	0,50	39	22,70	-14,38	28,37	4,05	3,20	-5,06	0,18	-0,22	-0,18

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	0,00	34	11,60	-6,97	13,95	1,22	0,76	-1,52	0,11	-0,11	-0,11
	0,00	39	12,70	-7,93	15,87	1,30	0,81	-1,62	0,10	-0,10	-0,10
	0,25	34	11,16	-6,97	13,95	1,85	1,15	-2,31	0,17	-0,16	-0,17
	0,25	39	13,95	-8,78	17,56	2,03	1,26	-2,53	0,15	-0,14	-0,14
	0,50	34	18,16	-11,35	22,7	1,82	1,13	-2,27	0,10	-0,10	-0,10
	0,50	39	22,00	-13,75	27,5	2,10	1,30	-2,62	0,10	-0,09	-0,10
4	0,00	34	10,16	-6,35	12,7	0,40	0,25	-0,5	0,04	-0,04	-0,04
	0,00	39	11,22	-7,01	14,02	0,50	0,31	-0,62	0,04	-0,04	-0,04
	0,25	34	9,16	-5,72	11,45	1,20	0,75	-1,5	0,13	-0,13	-0,13
	0,25	39	13,52	-8,70	17,4	1,50	0,93	-1,87	0,11	-0,11	-0,11
	0,50	34	17,16	-10,72	21,45	1,70	1,06	-2,12	0,10	-0,10	-0,10
	0,50	39	21,40	-13,37	26,75	1,90	1,18	-2,37	0,09	-0,09	-0,09

Таблица 2

Расчетные данные

$\bar{L}$	$e_0$	$F$ , кН	Перемещения $s$ , $u$ , мм, центра сечения моделей и крен $i$								
			нагруженных			ненагруженных			относительные величины		
			$s_1$	$u_1$	$i_1 \cdot 10^2$	$s_2$	$u_2$	$i_1 \cdot 10^2$	$s_2/s_1$	$u_2/u_1$	$i_2/i_1$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	0,00	34	4,81	0,06	-0,09	2,80	0,38	0,38	0,58	6,71	3,07
	0,00	39	5,52	0,07	-0,10	3,21	0,43	0,43	0,58	6,65	3,16
	0,25	34	4,81	0,06	-0,09	2,80	0,38	0,38	0,58	6,71	2,85
	0,25	39	5,52	0,07	-0,10	3,21	0,43	0,43	0,58	6,65	3,16
	0,50	34	4,78	-0,18	-0,03	2,95	0,38	0,38	0,62	-2,07	7,12
	0,50	39	5,42	-0,21	-0,04	3,38	0,43	0,43	0,62	-2,07	6,73
3	0,00	34	4,87	0,04	-0,05	1,95	0,28	0,28	0,40	7,29	6,55
	0,00	39	5,59	0,04	-0,05	2,24	0,32	0,32	0,40	7,23	6,53
	0,25	34	4,87	0,04	-0,05	1,95	0,28	0,28	0,40	7,29	6,55
	0,25	39	5,59	0,04	-0,05	2,24	0,32	0,32	0,40	7,23	6,53
	0,50	34	4,85	-0,21	-0,09	2,09	0,31	0,31	0,43	-1,46	2,88
	0,50	39	5,56	-0,24	-0,10	2,39	0,35	0,35	0,43	-1,46	2,91
4	0,00	34	4,88	0,04	-0,03	1,33	0,18	0,18	0,27	4,69	9,30
	0,00	39	5,60	0,05	-0,03	1,53	0,21	0,21	0,27	4,67	10,00
	0,25	34	4,87	-0,09	-0,04	1,39	0,20	0,20	0,28	-2,33	6,82
	0,25	39	5,59	-0,10	-0,05	1,59	0,23	0,23	0,28	-2,34	6,81
	0,50	34	4,87	-0,21	-0,10	1,44	0,21	0,21	0,30	-1,00	2,43
	0,50	39	5,58	-0,24	-0,13	1,65	0,24	0,24	0,30	-1,02	2,30

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	-0,25	34	4,83	0,18	-0,16	2,72	0,38	-0,32	0,56	2,09	2,08
	-0,25	39	5,54	0,21	-0,18	3,12	0,43	-0,37	0,56	2,08	2,09
	-0,50	34	4,85	0,30	-0,21	2,65	0,38	-0,36	0,55	1,27	1,68
	-0,50	39	5,56	0,34	-0,25	3,03	0,43	-0,41	0,54	1,28	1,66
3	-0,25	34	4,88	0,14	-0,10	1,90	0,27	-0,32	0,39	1,93	3,19
	-0,25	39	5,60	0,16	-0,12	2,18	0,31	-0,37	0,39	1,91	3,20
	-0,50	34	4,89	0,29	-0,18	1,82	0,25	-0,35	0,37	0,87	1,93
	-0,50	39	5,61	0,33	-0,21	2,09	0,29	-0,40	0,37	0,87	1,96
4	-0,25	34	4,89	0,16	-0,10	1,28	0,17	-0,30	0,26	1,02	3,02
	-0,25	39	5,61	0,19	-0,12	1,47	0,19	-0,34	0,26	1,02	2,92
	-0,50	34	4,90	0,29	-0,17	1,22	0,15	-0,31	0,25	0,53	1,84
	-0,50	39	5,62	0,33	-0,19	1,40	0,18	-0,36	0,25	0,53	1,84

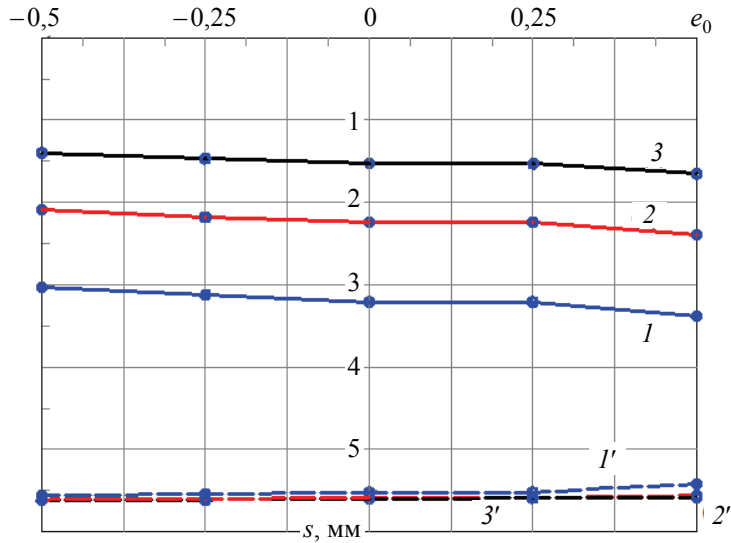
Таблица 3

Отношения расчетных перемещений к опытным

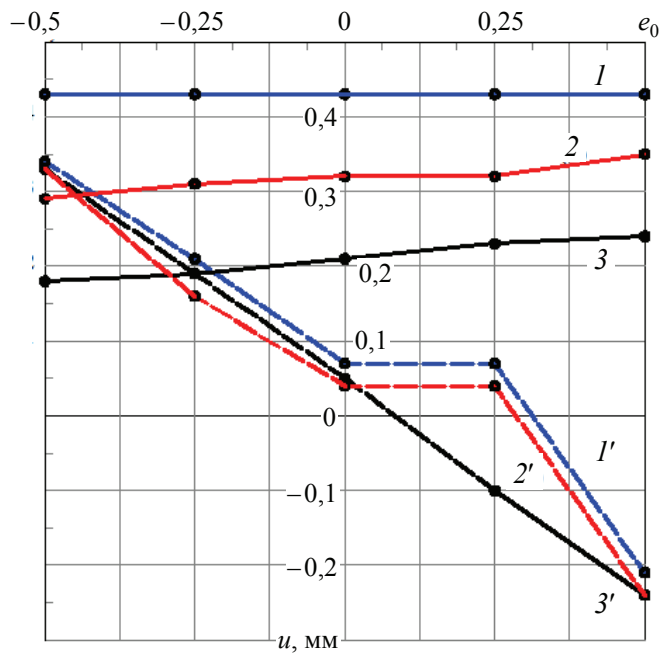
$\bar{L}$	$e_0$	$F, \text{кН}$	Относительные перемещения моделей					
			нагруженных			ненагруженных		
			$\bar{s}_1$	$\bar{u}_1$	$\bar{i}_1$	$\bar{s}_2$	$\bar{u}_2$	$\bar{i}_2$
2	0,00	34	0,47	-0,01	-0,01	2,00	0,41	0,16
	0,00	39	0,42	-0,01	-0,01	1,53	0,23	0,12
	0,25	34	0,38	-0,01	-0,01	1,08	0,22	0,08
	0,25	39	0,39	-0,01	-0,01	1,03	0,21	0,08
	0,50	34	0,25	0,01	0,00	0,84	0,17	0,05
	0,50	39	0,24	0,01	0,00	0,83	0,14	0,05
3	0,00	34	0,42	-0,01	0,00	1,60	0,36	0,20
	0,00	39	0,44	-0,01	0,00	1,72	0,39	0,21
	0,25	34	0,44	-0,01	0,00	1,06	0,24	0,13
	0,25	39	0,40	-0,01	0,00	1,10	0,25	0,14
	0,50	34	0,27	0,02	0,00	1,15	0,27	0,11
	0,50	39	0,25	0,02	0,00	1,14	0,27	0,11
4	0,00	34	0,48	-0,01	0,00	3,33	0,73	0,57
	0,00	39	0,50	-0,01	0,00	3,06	0,68	0,52
	0,25	34	0,53	0,01	0,00	1,16	0,26	0,18
	0,25	39	0,41	0,01	0,00	1,06	0,24	0,16
	0,50	34	0,28	0,02	0,00	0,85	0,20	0,12
	0,50	39	0,26	0,02	0,00	0,87	0,21	0,12

Примечание:  $\bar{s}_1 = \frac{s_{1t}}{s_{1e}}$ ;  $\bar{u}_1 = \frac{u_{1t}}{u_{1e}}$ ;  $\bar{i}_1 = \frac{i_{1t}}{i_{1e}}$ ;  $\bar{s}_2 = \frac{s_{2t}}{s_{2e}}$ ;  $\bar{u}_2 = \frac{u_{2t}}{u_{2e}}$ ;  $\bar{i}_2 = \frac{i_{2t}}{i_{2e}}$ .

Определим зависимости перемещений ненагруженного фундамента от нагрузки, относительного эксцентриситета и расстояния между фундаментами. Теоретические величины, полученные с помощью Plaxis 8х, показаны на рис. 3.



a)



б)

Рис. 3. Графики зависимостей расчетного вертикального (а) и горизонтального (б) перемещений модели от относительного эксцентриситета  $e_0$  для ненагруженного  $s_2, u_2$  (сплошные линии) и нагруженного  $s_1, u_1$  (пунктир) моделей:  $d_1 = d_2 = 10$  см;  $\lambda = 2$ ;  $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup>;  $\bar{L}$ : 1 – 2, 2 – 3, 3 – 4;  $F = 39$  кН

Таблица 4

**Зависимости осадки и горизонтального перемещения  
ненагруженной модели фундамента от влияния нагруженной**

$e_0$	$\bar{L}$	$s_2$	$u_2$
0	2	$0,047F^2 - 0,227F + 0,245$	$0,045F^2 - 0,261F + 0,317$
	3	$0,012F^2 + 0,078F - 0,198$	$0,022F^2 - 0,068F + 0,408$
	4	$0,009F^2 - 0,031F + 0,037$	$0,006F^2 - 0,021F + 0,026$
0,25	2	$0,021F^2 + 0,178F - 0,19$	$0,009F^2 + 0,166F - 0,206$
	3	$0,021F^2 + 0,068F - 0,14$	$0,013F^2 + 0,041F - 0,087$
	4	$0,026F^2 + 0,068F + 0,051$	$0,016F^2 - 0,044F + 0,033$
0,5	2	$0,066F^2 + 0,448F - 0,469$	$0,017F^2 + 0,209F - 0,28$
	3	$-0,004F^2 + 0,301F - 0,296$	$-0,003F^2 + 0,191F - 0,21$
	4	$0,003F^2 + 0,226F - 0,317$	$0,002F^2 + 0,141F - 0,2$

Таблица 5

**Зависимости осадки и горизонтального перемещения  
от относительного эксцентриситета**

$\bar{L}$	$s_2$	$u_2$
2	$0,05 e_0^4 - 0,602 e_0^3 + 2,443 e_0^2 - 3,87 e_0 + 5,19$	const
3	$0,015 e_0^3 - 0,133 e_0^2 + 0,4 e_0 + 1,805$	$3,3 \cdot 10^{-3} e_0^3 - 0,029 e_0^2 + 0,088 e_0 + 0,22$
4	$0,025 e_0^4 - 0,293 e_0^3 + 1,13 e_0^2 - 1,64 e_0 + 2,32$	$7,2 \cdot 10^{-3} e_0^4 - 0,084 e_0^3 + 0,321 e_0^2 - 0,47 e_0 + 0,435$

Зависимости осадки  $s_2$  и горизонтального перемещения  $u_2$  ненагруженной модели фундамента диаметром  $d_2 = 10$  см от влияния нагруженной при  $\lambda = 2$ ,  $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup> и различных значениях  $e_0$  и  $\bar{L}$  представлены в табл. 4. Зависимости осадки  $s_2$  и горизонтального перемещения  $u_2$  от относительного эксцентриситета  $e_0$  при различных значениях  $\bar{L}$  приведены в табл. 5.

**Выводы.**

1. С увеличением относительного эксцентриситета при постоянном расстоянии между фундаментами осадки (вертикальные перемещения) ненагруженного фундамента возрастают до 58 % от осадки нагруженного.

2. С увеличением расстояния между фундаментами при постоянном относительном эксцентриситете осадки ненагруженного фундамента уменьшается примерно в 2 раза.

3. Вертикальные перемещения ненагруженного фундамента от влияния близко расположенного нагруженного фундамента считаются значительными. Дополнительные перемещения оказывают негативное влияние на деформации надземных частей зданий (сооружений).

4. Значения расчетной осадки нагруженного фундамента меньше экспериментальных на 24 – 53 %, а осадки ненагруженного фундамента больше экспериментальных в 2 раза, особенно при небольшом расстоянии

между фундаментами. Это связано с условностью расчетной упругой модели грунта основания.

5. Приведенные теоретические зависимости более подходят для оснований из глинистых грунтов.

#### *Список литературы*

1. Леденёв, В. В. Экспериментальное исследование оснований заглубленных фундаментов : монография / В. В. Леденёв. – Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 1985. – 156 с.

2. Леденёв, В. В. Распределительная способность грунтов и взаимное влияние подземных конструкций / В. В. Леденёв, З. Х. Нгуен, Тью Тхи Хоанг Ань // Строит. механика и конструкции. – 2013. – Т. 1, № 6. – С. 58 – 66.

3. Леденёв, В. В. Влияние эксцентриситета на вертикальные перемещения фундаментов глубокого заложения / В. В. Леденёв, Тью Тхи Хоанг Ань // Строит. механика и конструкции. – 2011. – № 2. – С. 101 – 106.

4. Сотников, С. Н. Проектирование и возведение фундаментов вблизи существующих сооружений / С. Н. Сотников, В. Г. Симагин, В. П. Вершинин ; под ред. С. Н. Сотникова. – М. : Стройиздат, 1986. – 96 с.

#### *References*

1. Ledenev V.V. *Ekspperimental'noe issledovanie osnovanii zaglublennykh fundamentov* [Experimental study of the bases of deep foundations], Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta, 1985, 156 p. (In Russ.)

2. Ledenev V.V., Nguyen D. H., Chu Thi Hoang Anh. [Distribution capacity of soils and the mutual influence of underground structures], *Structural mechanics and construction* [Structural mechanics and constructions], 2013, vol. 1, no. 6, pp. 58-66. (In Russ., Abstract in Eng.)

3. Ledenev V.V., Chu Thi Hoang Anh. [Effect of eccentricity on the vertical displacement of deep foundations], *Structural mechanics and construction* [Structural mechanics and constructions], 2011, no. 2, pp. 101-106. (In Russ., Abstract in Eng.)

4. Sotnikov S.N., Simagin V.G., Vershinin V.P. *Proektirovanie i vozvedenie fundamentov vblizki sushchestvuyushchikh sooruzhenii* [Design and construction of foundations near existing structures], Moscow: Stroyizdat, 1986, 96 p. (In Russ.)

---

## **Mutual Influence of the Closely Spaced Foundations**

**V. V. Ledenev, Chu Thi Hoang Anh**

*Tambov State Technical University, Tambov*

**Key words:** calculated data; deformation of the ground; displacements; drilled piles; eccentric vertical forces; experimental; loaded and unloaded foundations.

**Abstract:** The paper describes the results of theoretical and experimental studies of the mutual influence of the loaded foundation on the unloaded foundation under the action of a vertical eccentric force. We found the relationships between the influencing parameters of one cylindrical foundation under the action of a vertical eccentric force while the other foundation is unloaded. We compared the calculated data with the experimental data using the program “Plaxis 8x”. We found the cause of discrepancy between the experimental and calculated data.

---

© В. В. Леденёв, Тью Тхи Хоанг Ань, 2016