Евтушенко С.И., Пихур В.Н. Экспериментальное изучение работы песчаного основания двух штампов при их раздвижке // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2017. – Т. 8, № 2. – С. 109–118. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.2.11

Evtushenko S.I., Pikhur V.N. Experimental study work of sand base two stamps in their studies. *Bulletin of Perm National Research Polytechnic University. Construction and Architecture*. 2017. Vol. 8, no. 2. Pp. 109-118. DOI: 10.15593/2224-9826/2017.2.11

**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 8, № 2, 2017
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9826/2017.2.11

УДК 624.153.52-465: 69.058.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ПЕСЧАНОГО ОСНОВАНИЯ ДВУХ ШТАМПОВ ПРИ ИХ РАЗДВИЖКЕ

С.И. Евтушенко, В.Н. Пихур

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 15 марта 2017
Принята: 15 июня 2017
Опубликована: 30 июня 2017

Ключевые слова:

работа штампов, модель столбчатого фундамента, изменение нормальных напряжений, песчаное основание

АННОТАЦИЯ

Авторами проведена серия опытов по изучению нормальных напряжений в песчаном массиве под жесткими штампами при различной раздвижке. Месдозы располагались в основании до глубины $2,0b$ (ширины фундамента) с шагом $0,25b$. Выполнен анализ взаимовлияния близкорасположенных штампов и анализ изменения нормальных напряжений в различных точках во всем интервале нагружения, вплоть до разрушения основания с потерей устойчивости штампов и выпором грунта из под моделей. Приведены графики изменения осадки при возрастании нагрузки, и выполнен анализ предельной нагрузки и осадки штампов при различной раздвижке.

© ПНИПУ

© **Евтушенко Сергей Иванович** – доктор технических наук, профессор, e-mail: evtushenko_s@novoch.ru.
Пихур Виталий Николаевич – аспирант, e-mail: v-pihur@mail.ru.

Sergei I. Evtushenko – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: evtushenko_s@novoch.ru.
Vitalii N. Pikhur – Postgraduate Student, e-mail: v-pihur@mail.ru.

EXPERIMENTAL STUDY WORK OF SAND BASE TWO STAMPS IN THEIR STUDIES

S.I. Evtushenko, V.N. Pikhur

Platov South-Russian State Technical University (NPI), Novocherkassk, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 15 March 2017
Accepted: 15 June 2017
Published: 30 June 2017

Keywords:

the work stamps, model Foundation,
the change in normal stress, sandy
base

ABSTRACT

The authors conducted a series of experiments to study the normal stresses in the sand mass under rigid punches with various extendable. Mendoza was located at the base to a depth of $2.0b$ (width of Foundation) with a step of $0.25b$. The analysis of interaction of closely spaced dies and the analysis of changes in normal stress at various points over the whole range of loading up to the destruction of the base with the loss of stability of stamps and heaving of the soil from under the models. Given graphs of rainfall with increasing load and the analysis of limit load and precipitation of stamps with different extendable.

© PNRPU

Изучение взаимодействия штампов и песчаного массива позволяет по новому оценить взаимовлияние двух близкорасположенных фундаментов, что при возрастании объемов строительства в условиях плотной городской застройки становится все более актуальным.

Большое внимание проблеме строительства в условиях плотной городской застройки уделялось в исследованиях АО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП имени Н.М. Герсеванова) [1–3], а также ленинградской геотехнической школы [4].

Взаимовлияние фундаментов учтено в московских региональных нормах [1], которые получили большое распространение. Нормами предусмотрен обязательный учет основных факторов, при наличии которых производится расчет оснований и фундаментов существующих зданий по I группе предельных состояний [2].

Расчет оснований существующих зданий или сооружений по II группе предельных состояний должен выполняться во всех случаях, если они находятся в зоне влияния нового строительства.

Учет комплекса факторов, порождаемых сложной реконструкцией и новым строительством в условиях городской застройки, предложен В.М. Улицким, А.Г. Шашкиным [4].

В разное время рядом исследований [5, 7–10 и др.] в целях установления особенностей взаимодействия проводились натурные наблюдения и экспериментальное изучение работы близкорасположенных фундаментов.

Так, на примере застройки города Москвы А.И. Пилюгиным [5] приводятся многочисленные случаи появления неравномерных деформаций ранее построенных зданий, появившихся после возведения вплотную с ними новых домов.

Наблюдения за разноэтажными вплотную расположенными частями зданий велись в Ростове-на-Дону [6]. Натурные исследования показали, что характерными признаками взаимного влияния является закрытие осадочных швов здания, примыкающего к позднее выстроенному объекту. В стенах, перпендикулярных границе примыканий зданий, образуются трещины, направление и раскрытие которых свидетельствует о возникновении перегиба.

И.Ф. Вотяковым [7] рассматривается случай взаимодействия ленточных внецентренно нагруженных фундаментов двух пятиэтажных зданий в г. Риге, основанием которых являются глинистые грунты мягкопластичной консистенции ($IL = 0,59–0,62$) мощностью 1,6 м и 10–12-метровая толщина песков средней крупности.

В целях установления закономерностей влияния осадок зданий на деформации соседних сооружений и инженерных сетей А.А. Собениным [8] были организованы наблюдения за деформациями поверхности грунта. На основании сопоставления эпюр осадок поверхности грунта автором делается вывод, что фактические осадки поверхности с удалением от здания убывают медленнее, чем теоретически найденные.

Кроме натурных наблюдений, известен ряд лабораторных исследований, посвященных изучению совместной работы фундаментов мелкого заложения. Так, для экспериментального определения кренов взаимодействующих фундаментов Г.В. Раскиным [9] были выполнены лотковые эксперименты по изучению работы взаимодействующих фундаментов мелкого заложения, которые моделировалась двумя жесткими квадратными штампами из бетона. Опыты показали, что поверхность грунта за пределами штампа получает перемещения, которые распространяются в стороны примерно на 0,5–0,7 ширины штампа, и это расстояние считается зоной сильных взаимодействий.

Взаимное влияние (осадки и крены) двух жестких площадей исследовалось О.Б. Фамским [10]. Перемещение отдельных слоев грунта основания контролировалось с помощью глубинных винтовых марок. В ходе экспериментов определялись осадки и крены штампов, перемещения грунта в основании штампов, деформаций поверхности грунта около моделей, тем самым изучались распределительные свойства грунта.

Эти примеры свидетельствуют о том, что, несмотря на достаточно большое количество исследований, посвященных изучению взаимодействия фундаментов мелкого заложения и проведенных разнообразными методами, имеют место неравномерные деформации зданий и сооружений, вызванные влиянием фундаментов.

Авторами проведены экспериментальные исследования работы песчаного массива под жесткими штампами при их раздвижке. Проведение опытов решало следующие задачи: исследование распределения напряжений σ_z в массиве основания в продольном створе двух близкорасположенных штампов и установление закономерностей распределения нормальных напряжений в процессе роста нагрузки на штампы, а также влияние их раздвижки на несущую способность основания.

Для достижения поставленных целей было проведено 12 опытов, разделенных на четыре серии. При исследовании совместной работы песчаного массива и двух квадратных штампов (моделей столбчатых фундаментов) в сериях опытов помимо осадок, продольных кренов моделей измерялись напряжения σ_z в массиве основания датчиками, расположенными по ортогональной сетке с шагом $0,5b$.

Для измерений нормальных вертикальных напряжений σ_z в этих сериях опытов датчики конструкции Г.Е. Лазебника устанавливались в «контактном слое» на глубине $0,25b$ и далее до глубины $z = 2,0b$ (рис. 1). Схемы расположения датчиков для каждой серии приведены на рис. 2.

Подробно единая методика проведения опытов приведена в монографии профессоров Ю.Н. Мурзенко и С.И. Евтушенко [11].

Сериям экспериментов по изучению распределения вертикальных напряжений в массиве основания авторами был проведен ряд экспериментальных исследований по определению предельно допустимой нагрузки на песчаное основание под близкорасположенными столбчатыми незаглубленными штампами. Результаты опытов и сопоставление графиков осадка – нагрузка для различной раздвижки штампов, схемы выпора грунта при разрушении основания приведены в статье [12].

Рис. 1. Продольная схема расположения штампов и приборов: 1 – песчаное основание; 2 – штамп (модель фундамента); 3 – шаровая опора; 4 – индикатор часового типа (измерение крена); 5 – стенки лотка; 6 – датчики давления (месдозы)
Fig. 1. Longitudinal scheme of an arrangement of stamps and devices: 1 – sandy basis; 2 – stamp (base model); 3 – spherical support; 4 – indicator of hour type (measurement of a list); 5 – tray walls; 6 – sensors of pressure (mesдозы)

Рис. 2. План расположения датчиков
Fig. 2. Plan of an arrangement of sensors

Установка датчиков в массиве грунта, в процессе послойного формирования песчаного основания, производилась с контролем их состояния в режиме «Контроль» автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) (комплекс «СОТИ»).

На основании проведенных ранее экспериментов [13, 14] мы считаем, что соотношение размеров лотка и штампов подобраны так, что стенки лотка не оказывает влияния на результаты эксперимента. Для увеличения точности измерения и обеспечения двух- и трехкратной повторности измеренных величин датчики укладывались под обоими штампами в симметричных точках.

По результатам обработки полученных данных построены графики приращения напряжений σ_z вдоль вертикальной оси штампа, а также построены эпюры напряжений σ_z в продольном створе моделей фундаментов (рис. 3).

Рис. 3. Эпюры напряжений (при $a = 1,0b$) по продольной оси штампов

Fig. 3. Epyura of tension (at $a = 1,0b$) on a longitudinal axis of stamps

Из данных таблицы и графиков (см. рис. 3) видно, что приращение напряжения уменьшаются с увеличением глубины заложения датчиков и увеличением расстояния между штампами, что хорошо согласуется с гипотезами других авторов [15].

Напряжения по оси, проходящей через точку 3

Tension on the axis passing through a point 3

Глубина заложения датчика	Расстояние между штампами	Напряжения в зависимости от нагрузки, кгс/см ²										
		0,5 т	1,0 т	1,5 т	2,0 т	2,5 т	3,0 т	3,5 т	4,0 т	4,5 т	5,0 т	5,5 т
$h = 0,5b$	$a = 0,5b$	0,48	0,81	1,13	1,52	1,91	2,37	2,89	3,51	4,23	5,24	6,46
	$a = 1,0b$	0,04	0,17	0,31	0,48	0,66	0,89	1,15	1,44	1,79	2,20	2,67
	$a = 1,5b$	0,26	0,59	0,95	1,33	1,74	2,17	2,63	3,14	3,80	4,64	5,64
	$a = 2,0b$	0,24	0,52	0,83	1,16	1,55	1,98	2,42	2,96	3,52	4,18	4,80
$h = 1,0b$	$a = 0,5b$	0,25	0,47	0,69	0,93	1,18	1,49	1,82	2,22	2,63	3,06	3,63
	$a = 1,0b$	0,21	0,41	0,62	0,85	1,13	1,42	1,74	2,08	2,46	2,84	3,20
	$a = 1,5b$	0,19	0,36	0,57	0,81	1,06	1,35	1,64	1,99	2,36	2,73	3,11
	$a = 2,0b$	0,17	0,25	0,40	0,55	0,77	1,01	1,27	1,54	1,81	2,08	2,33
$h = 1,5b$	$a = 0,5b$	0,19	0,37	0,56	0,77	0,98	1,19	1,40	1,61	1,84	2,07	2,32
	$a = 1,0b$	0,17	0,29	0,46	0,66	0,85	1,06	1,28	1,49	1,70	1,95	2,22
	$a = 1,5b$	0,16	0,24	0,35	0,50	0,67	0,87	1,07	1,29	1,52	1,74	1,96
	$a = 2,0b$	0,15	0,19	0,27	0,41	0,58	0,78	0,97	1,19	1,43	1,66	1,89
$h = 2,0b$	$a = 0,5b$	0,10	0,21	0,33	0,46	0,59	0,72	0,85	1,00	1,16	1,34	1,53
	$a = 1,0b$	0,08	0,17	0,28	0,40	0,52	0,65	0,78	0,91	1,05	1,19	1,35
	$a = 1,5b$	0,06	0,13	0,22	0,32	0,43	0,56	0,69	0,82	0,96	1,10	1,25
	$a = 2,0b$	0,06	0,10	0,17	0,24	0,31	0,39	0,45	0,53	0,62	0,73	0,82

Наибольшее давление под центром штампа возникает при наименьшей раздвижке штампов, а разница между значениями при одинаковом нагружении в одноименных точках возрастает с увеличением расстояния между штампами. До нагрузки 2–2,5 т (соответствует напряжению под подошвой фундамента 1,6–2,4 кг/см²) соблюдается линейность графиков, также с увеличением глубины изменения напряжений происходит в более узком диапазоне (изменение «выравнивается») (рис. 4–6).

На графиках (рис. 7, 8) видно, что при раздвижке штампов в пределах 1–1,5*b* образовывается своеобразная «полка» – почти горизонтальный участок графиков, где изменение напряжений не сильно заметно. При изменении расстояния между штампами от 0,5 до 1,0*b* разница напряжений достигает 30 %, а при изменении расстояния между штампами от 1,5 до 2,0*b* – до 50 %.

Рис. 4. Изменение напряжений по глубине под центром штампа (раздвижка $a = 0,5b$)

Fig. 4. Change of tension on depth under the center of a stamp ($a = 0,5b$)

Рис. 5. Изменение напряжений в основании штампа на глубине $h = 0,5b$

Fig. 5. Change of tension in the stamp basis at $h = 0,5b$ depth

Рис. 6. Изменение напряжений в основании штампа на глубине $h = 2,0b$
Fig. 6. Change of tension in the stamp basis at $h = 2,0b$ depth

Рис. 7. Изменение напряжений в основании штампа при нагрузке 1 т
Fig. 7. Change of tension in the stamp basis at loading of 1 t

Рис. 8. Изменение напряжений в основании штампа при нагрузке 5 т
Fig. 8. Change of tension in the stamp basis at loading of 5 t

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. При уменьшении расстояния между штампами меньше чем $2,0b$ необходимо учитывать увеличение напряжений в грунтовом массиве, возникающих от взаимовлияния фундаментов.
2. Максимальные напряжения возникают не под центром моделей фундаментов, а располагается между точками 3 и 2, что требует корректировки методики расчета осадки с учетом взаимовлияния фундаментов.
3. Полученные результаты хорошо согласуются с гипотезами других авторов.

Библиографический список

1. Нормативные документы на проектирование и устройство оснований, фундаментов и подземных сооружений для Москвы, разработанные НИИОСП / В.А. Ильичев, В.П. Петрухин, В.В. Михеев, Ю.Г. Трофименков. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсегонова, 2001. – С. 3–21.
2. Ильичев В.А., Коновалов П.А., Никифорова Н.С. Деформации существующих зданий при строительстве заглубленных сооружений. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсегонова, – 2001. – С. 253–263.
3. Ильичев В.А., Коновалов П.А., Никифорова Н.С. Прогноз деформаций зданий вблизи котлованов в условиях тесной городской застройки Москвы // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 4. – С. 17–21.
4. Улицкий В.М., Шашкин А.Г. Геотехническое сопровождение реконструкции городов. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 327 с.
5. Пилюгин А.И. Анализ явлений дополнительных осадок фундаментов от давления на грунтах соседних фундаментов: дис. ... канд. техн. наук. – М., 1946. – 240 с.
6. Василенко А.С. Оценка напряженного состояния основания смежных фундаментов // Вопросы исследования лессовых грунтов, оснований и фундаментов. – Ростов н/Д, 1969. – Вып. 2. – С. 120–134.
7. Вотьяков И.Ф. О дополнительной осадке здания, вызванной влиянием фундамента примыкающего здания // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1966. – № 1. – С. 18–20.
8. Собенин А.А. Исследования развития осадок поверхности грунта вблизи зданий // Механика грунтов, основания и фундаменты: кратк. содерж. докл. XXXI науч. конф. ЛИСИ. – Л., 1973. – С. 13–17.
9. Раскин Г.В. Взаимодействие жестких прямоугольных фундаментов на основании конечной толщины // Основания, фундаменты и подземные сооружения. – М., 1970. – С. 109–118.
10. Фиамский О.Б. Исследование осадок основания неравномерно пригруженных фундаментов // Прочность и деформации оснований. – Л., 1970. – Вып. 319. – С. 29–48.
11. Мурзенко Ю. Н., Евтушенко С. И. Экспериментальные исследования работы краевой зоны сборных фундаментов под отдельную колонну и сетку колонн на песчаном основании: монография. – Ростов н/Д, 2008. – 248 с.
12. Евтушенко С.И., Богомолов А.Н., Пихур В.Н. Изучение предельной несущей способности двух близкорасположенных столбчатых фундаментов // Вестник Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та. Строительство и архитектура. – 2011. – Вып. 24 (43). – С. 29–32.

13. Krakhmal'ny T.A., Evtushenko S.I., Krakhmal'naya M.P. New designs of the combined tape bases providing fuller use of the bearing ability of the basis // *Challenges and Innovations in Geotechnics: Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference*. – 2016. – P. 147–150.

14. Евтушенко С.И., Архипов Д.Н. Изучение распределения вертикальных напряжений и деформаций в основании сборного ленточного фундамента из балочных элементов // *Строительство и архитектура*. – 2014. – Т. 2, № 1. – С. 17–20.

15. Цытович Н.А. Механика грунтов: краткий курс. – М.: Высшая школа, 1983. – 282 с.

References

1. Ilichev V.A., Petruchin V.P., Micheev V.V., Trofimenkov Yu.G. Normativnye dokumenty na proektirovanie i ustroystvo osnovanii, fundamentov i podzemnykh sooruzhenij dlia Moskvy, razrabotannye NIIOSP [Regulatory documents for the design and construction of bases, foundations and underground structures in Moscow, designed by NIIOSP]. *NIIOSP im. N.M. Gersevanova – 70 let. Trudy instituta*, Moscow, 2001, pp. 3-21.

2. Ilichev V.A., Konovalov P.A., Nikiforova N.S. Deformacii suschestvuyuschih zdanii pri stroitelstve zaglublennykh sooruzhenii [Deformations of existing buildings the construction of underground structures]. *NIIOSP im. N.M. Gersevanova – 70 let. Trudy instituta*, Moscow, 2001, pp. 253-263.

3. Ilichev V.A., Konovalov P.A., Nikiforova N.S. Prognoz deformacii zdanii vblizi kotlovanov v usloviiah tesnoi gorodskoi zastroiki Moskvy [Prediction of deformations of buildings near the trenches in the dense urban environment of Moscow]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 2004, no. 4, pp. 17-21.

4. Ulickij V.M., Shashkin A.G. Geotahnicheskoe soprovozhdenie rekonstrukcii gorodov [Geotechnical support urban renewal]. Moscow, ASV, 1999, 327 p.

5. Pilyugin A.I. Analiz iavlenii dopolnitelnykh osadok fundamentov ot davleniia na gruntah sosednih fundamentov [Analyses of additional sediment foundations from the pressure on the soils of neighbouring foundations]. Ph. D. thesis. Moscow, 1946, 240 p.

6. Vasilenko A.S. Ocenka napriazhennogo sostoiianiia osnovaniia smezhnykh fundamentov [Evaluation of the stress state of the base of the adjacent foundations]. *Voprosy issledovaniia lessovykh gruntov, osnovanii i fundamentov*. Rostov-on-Don, 1969, iss. 2, pp. 120-134.

7. Votyakov I.F. O dopolnitelnoi osadke zdaniia, vyzvannoi vlianiem fundamenta primykaiushego zdaniia [Additional settling of the building caused by the influence of the Foundation of the adjoining building]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1966, no. 1, pp. 18-20.

8. Sobenin A.A. Issledovaniia razvitiia osadok poverhnosti grunta vblizi zdanii [Studies of the development of the sediment surface soil near buildings]. *Mehanika gruntov, osnovaniia i fundamenti. Kratkoe sodержanie dokladov k XXXI nauchnoi konferencii LISI*. Leningrad, 1973, pp. 13-17.

9. Raskin G.V. Vsaimodeistvie zhestkih priamougolnykh fundamentov na osnovanii konechnoi tolschiny [The interaction of a rigid rectangular foundations on the basis of finite thickness]. *Mehanika gruntov, osnovaniya i fundamenti*. Moscow, 1970, pp. 109-118.

10. Fiamskiy O.B. Issledovanie osadok osnovaniia neravnomerno prigruzhennykh fundamentov [The study of uneven subsidence of foundations prigruzhennye]. *Prochnost i deformacii osnovanij*. Leningrad, 1970, iss. 319, pp. 29-48.

11. Murzenko Yu.N., Evtushenko S.I. Experimentalnye issledovaniia raboty kraevoi zony sbornyh fundamentov pod otdel'nuiu kolonnu i setku kolonn na pestchanom osnovanii [Experimental studies of work regional zones prefabricated foundations under a separate column and the column grid on the sandy basis]. Rostov on Don, *Izvestiya VUZov. Severo-Kavkazskij Region*, 2008, 248 p.
12. Bogomolov A. N., Evtushenko S. I., Pikhur V. N. Izuchenie predel'noi nesushchei sposobnosti dvuch blizko raspologennyh stolbchatyh fundamentov [Research of maximum load carrying ability of two near located foundation]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2011, iss. 24 (43), pp. 29-32.
13. Krakhmal'ny, T.A., Evtushenko, S.I., Krakhmal'naya, M.P. New designs of the combined tape bases providing fuller use of the bearing ability of the basis. *Challenges and Innovations in Geotechnics. Proceedings of the 8th Asian Young Geotechnical Engineers Conference*, 2016, pp. 147-150.
14. Evtushenko S.I., Arhipov D.N. Isuchenie raspredeleniia vertikalnyh napriazheniy i deformacii v osnovanii sbornogo lentochnogo fundamenta iz balochnykh elementov [Field research on distribution of vertical stresses and deformations in the sand of the strip foundations with beam elements]. *Construction and architecture*, 2014, vol. 2, no. 1, pp. 17-20. DOI: 10.12737/3384/
15. Tsytovich N.A. *Mekhanika gruntov* [Soil mechanics]. Moscow, Vysshaia shkola, 1983, 282 p.