

Э.В. Ручкина, Е.Г. Фролова

Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина,
г. Краснодар, Россия

Изучение уплотнения песчаного основания фундамента*

Аннотация. Уплотнение песчаного основания под действием нагрузки от фундамента происходит неравномерно в пространстве и во времени. Это выражается в неравномерной осадке основания при увеличении нагрузки с постоянной скоростью. Осадка основания фундамента является интегральной реакцией на нагружение, на которую процессы деформирования песчаного грунта ниже подошвы фундамента влияют сложным образом. Физическое моделирование показало, наибольшее уплотнение происходит непосредственно в области под подошвой фундамента в верхнем слое грунта. Под пригрузками степень уплотненности ниже, но распределены эти изменения более равномерно по глубине.

Ключевые слова: основание, фундамент, физическое моделирование, уплотнение грунта

E.V. Ruchkina, E.G. Frolova

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin,
Krasnodar, Russia

Study of sealing of sandy basement

Annotation. Sealing of the sand base under the influence of the load from the foundation occurs unevenly in space and in time. This is expressed in the uneven settlement of the base as the load increases with a constant speed. The basement foundation settlement is an integral reaction to the loading, to which the processes of deformation of the sandy soil below the basement base are affected in a complex manner. Physical modeling showed that the greatest compaction occurs directly in the area beneath the base of the foundation in the upper layer of the ground. Under loading, compression ratio is lower, but these changes are distributed more evenly along the depth.

Keywords: basement, foundation, physical modeling, soil compaction basement

1. Введение

Деформации оснований фундаментов изучаются двести лет. Физическое моделирование грунтовых оснований применяется с конца 19-го века. Опыты проф. Ж. Биареза по методу проф. В. И. Курдюмова описаны в [1]. В них впервые установлена форма уплотненной области под фундаментом. Изучение этих процессов важно в условиях реконструкции и улучшения оснований фундаментов.

Одним из конструктивных методов уплотнения грунта является применение пригрузок [2], поскольку они ускоряют возникновение осадок во времени, то есть необходимая осадка достигается быстрее, и уплотненный грунт становится более устойчивым. В ходе эксперимента планировалось изучить поведение песчаного основания под фундаментом здания при упрочнении этого основания путем уплотнения боковой пригрузкой.

2. Модель песчаного основания фундамента

* Настоящая работа выполнена на кафедре оснований и фундаментов Кубанского государственного аграрного университета под руководством профессора кафедры Ляшенко П.А.

Модель песчаного основания с целью получения деформаций основания и распределения плотности грунта нагружалась постоянно возрастающей нагрузкой [3].

Модель формовалась в прямоугольной лотке с размерами $270 \times 270 \times 52$ мм. Нижняя часть модели основания была выполнена из суглинка пылеватого, верхняя – из сухого мелкого песка (рис. 1).

На песок опиралась модель фундамента. Она была выполнена в виде деревянного штампа, соединенного металлическим штоком с неподвижной стенкой установки. Положение этого штампа не меняется по мере нагружения. По бокам от фундамента расположены модели пригрузок. Они так же выполнены в виде деревянных штампов, которые были соединены с датчиками ДД1 и ДД2, показывающими давление. Подошвы центрального штампа и боковых штампов действуют на одной линии. Но в силу естественного перекоса эта линия действия не является абсолютно прямой. К лотку также присоединены еще два датчика, по которым снимались показания осадок модели.

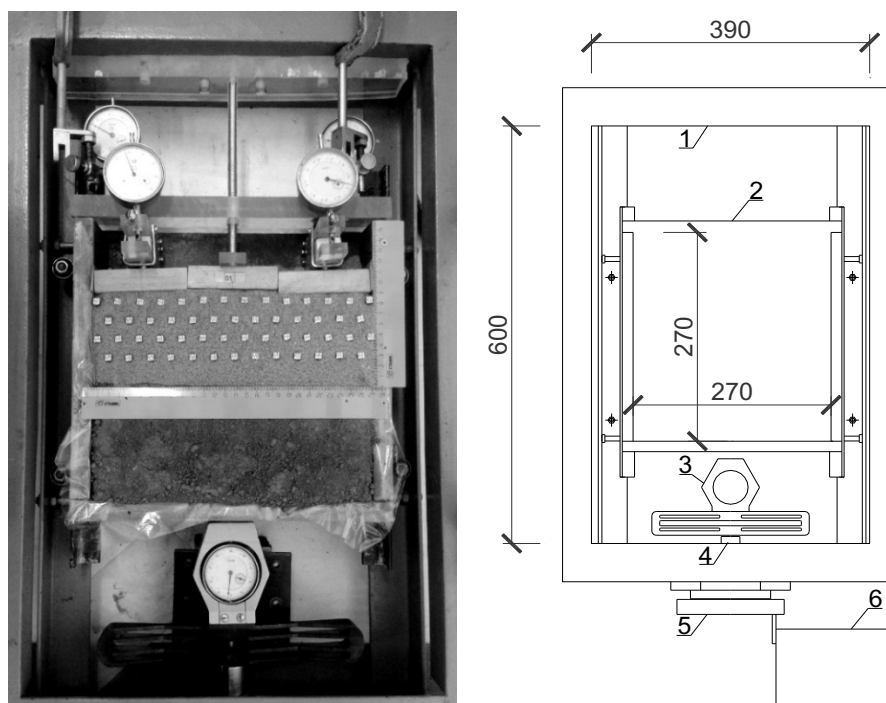


Рис. 1. Слева - вид сверху испытательного стенда и модели песчаного образца с марками для наблюдения перемещений. На переднем плане сверху датчики ДД1 (левый) и ДД2 (правый). Справа - схема установки ППЛ: 1 – корпус; 2 – подвижный лоток; 3 – динамометр ДОСМЗ-02; 4 – шток; 5 – редуктор; 6 – электромеханический привод.

В песок на всю глубину модели, равную 52 мм были помещены стальные стержни с марками. Стержни располагались в 4 ряда в шахматном порядке. Расстояния между стержнями были приняты равными 20 мм.

3. Испытание модели основания

Модель фундамента нагружалась через динамометр сжатия ДОСМЗ-02 путем подачи лотка с помощью электромеханического привода. Измерялись показания силы динамометра сжатия, а также осадка модели. Регистрировались данные датчиков и динамометра. Производилась фотофиксация эксперимента через равные промежутки изменения (увеличения) силы динамометра сжатия. В ходе эксперимента были получены:

- график зависимости осадки от давления на подошве модели фундамента (рис. 2).
- перемещения марок относительно лотка (табл. 1).
- давление на штампах, моделирующих пригрузку основания давлением засыпки пазух фундамента.

Таблица 1

Перемещения марок по осям х и у

№ марки	Дх, мм	Ду, мм	№ марки	Дх, мм	Ду, мм
01/01	7,52	79,23	03/01	8,43	44,19
01/02	27,91	79,06	03/02	28,04	44,70
01/03	49,96	79,02	03/03	48,00	44,44
01/04	69,35	78,93	03/04	67,52	44,19
01/05	88,74	78,76	03/05	87,48	42,86
01/06	108,74	73,63	03/06	107,96	41,20
01/07	128,65	74,19	03/07	128,87	39,79
01/08	148,83	74,06	03/08	149,91	40,13
01/09	169,74	74,19	03/09	170,57	41,97
01/10	189,48	80,09	03/10	191,70	45,17
01/11	208,13	80,85	03/11	209,48	46,03
01/12	228,74	81,45	03/12	229,65	46,79
01/13	249,09	82,05	03/13	249,17	46,88
01/14	268,57	83,33	03/14	269,39	47,82
02/01	18,30	61,20	04/01	18,22	26,71
02/02	39,48	61,92	04/02	38,57	26,15
02/03	58,91	61,32	04/03	58,83	26,67
02/04	78,35	61,37	04/04	77,61	26,24
02/05	97,91	58,33	04/05	97,87	24,91
02/06	118,57	57,56	04/06	118,26	23,16
02/07	139,83	57,18	04/07	139,65	23,12
02/08	159,43	57,35	04/08	161,13	24,62
02/09	180,43	60,26	04/09	181,17	26,92
02/10	200,96	63,33	04/10	201,78	27,86
02/11	219,00	63,72	04/11	220,26	28,85
02/12	239,96	64,96	04/12	239,91	29,36
02/13	259,30	64,83	04/13	260,04	29,53

Пространство с марками разделили на треугольные сегменты. Вычислив площади этих сегментов, и соотнеся первоначальные значения с изменившимися, можно определить изменения плотности грунта в этих сегментах.

В итоге по данным испытаний были построены:

- эпюры перемещений марок в песчаном основании модели (рис. 3),
- карты распределения плотности песка в основании (рис. 4).

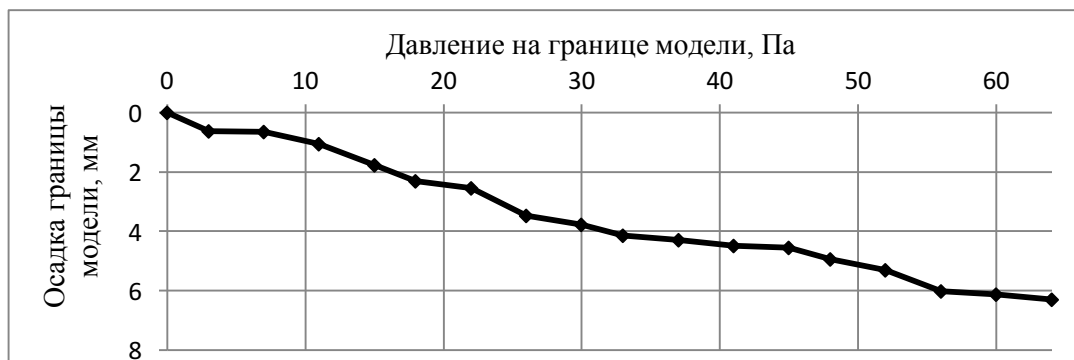


Рис. 2. График зависимости осадки от нагружения модели.

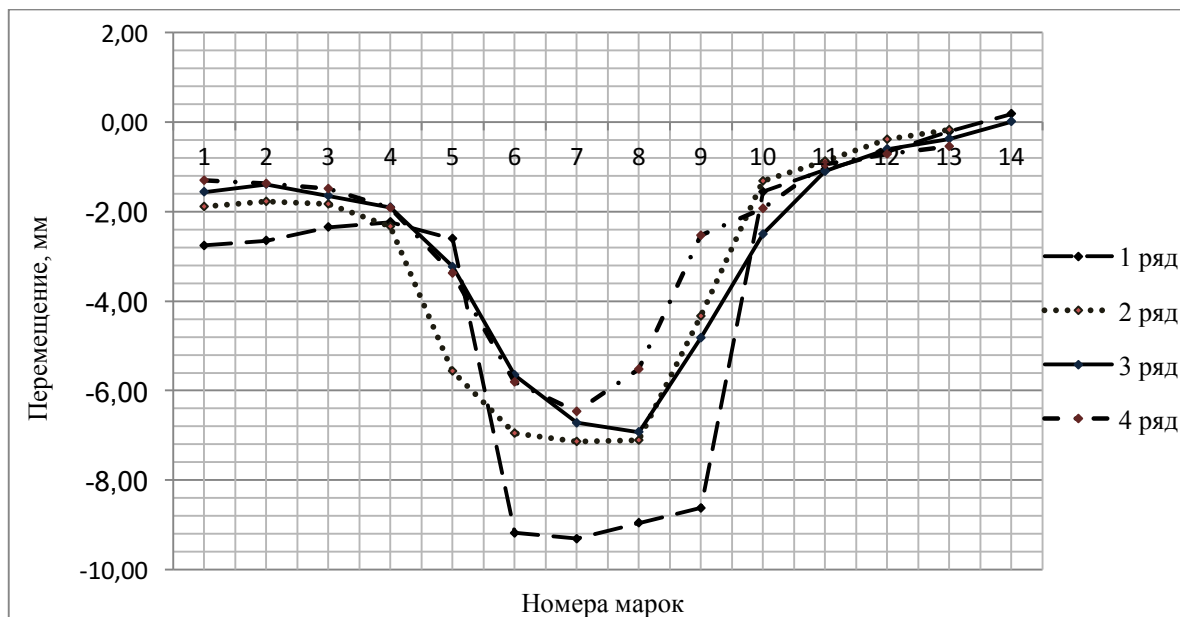


Рис. 3. Эпюры вертикальных перемещений.

Там, где отношение меньше единицы, то есть площади треугольников увеличились, соответственно уменьшилась плотность. И наоборот, значение отношения площадей треугольников, превышающее единицу, говорит об увеличении плотности.

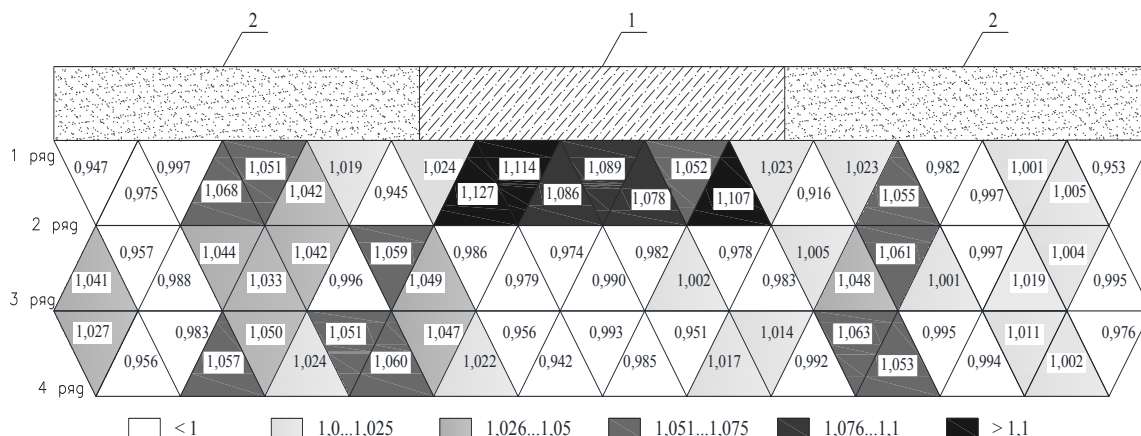


Рис. 4. Карты изменения плотности. 1 – модель фундамента; 2 – модель пригрузок. В треугольниках указаны отношения первоначальной плотности к изменившейся.

4. Анализ результатов испытания модели основания

По результатам испытания модели видно, что:

- основание находится в допредельном по прочности состоянии. Это видно по тому, что зависимость осадки от давления не достигла большой кривизны, что указывало бы на быстрый рост осадки при малом приращении давления. Для подтверждения этого была построена зависимость скорости осадки от давления (рис.5), по которой можно судить о росте осадки: она не превысила 0,25 мм/Па.

- песчаный грунт непосредственно под подошвой модели фундамента испытал сжатие, за пределами подошвы – растяжение;

- глубина максимально сжатой области под подошвой штампа, моделирующего фундамент, составила 0,2 от ширины подошвы фундамента;

- распределение степени сжатия грунта вдоль подошвы модели не равномерно.

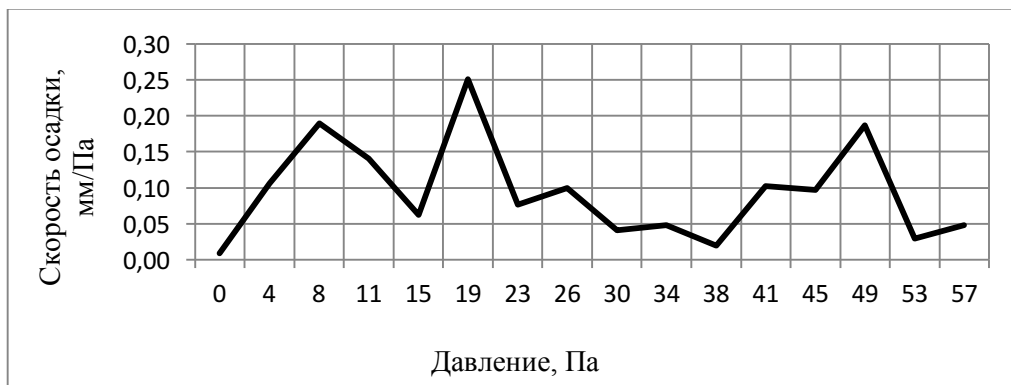


Рис. 5. График зависимости осадки от нагружения модели.

5. Заключение

Максимальное уплотнение произошло в верхнем ряду треугольников непосредственно под моделью фундамента на глубину $\frac{1}{5}$ ширины штампа. Ниже области уплотнения под фундаментом произошло разуплотнение. Под пригрузками в большей части произошло уплотнение, меньшее, чем под центральным штампом, но более равномерное по глубине модели основания. Различия в изменениях уплотненности в области левой боковой пригрузки и правой можно объяснить естественным перекосом модели фундамента.

Осадка подошвы фундамента вызывает уплотнение песчаного основания, следовательно, – его упрочнение. Известно, что с увеличением плотности песка увеличивается его сопротивление сдвигу, т. е. прочность [4].

В разных точках основания перемещение подошвы фундамента может приводить как к уплотнению, так и к разуплотнению песка. Соответственно, реакция основания будет зависеть от суммарной реакции его частей.

Библиографический список

1. Цытович Н.А. Механика грунтов (краткий курс). – М.: Высш. шк., 1983. – 287 с.
2. Игошева Л.А., Гришина А.С. Обзор основных методов укрепления грунтов основания// Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, №2. – С. 5–21. doi: 10.15593/2224-9826/2016.2.01.
3. Ляшенко П.А., Денисенко В.В. Физическое моделирование компрессионного сжатия песка// Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. 2016. №122 (08). doi: 10.21515/1990-4665-122-047. (<http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/47.pdf>).

4. Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов (Напряженно-деформативные и прочностные характеристики). – М.: Стройиздат, 1979. – 304 с.
5. Болдырев Г. Г., Никитин Е. В. Деформация песка в основании полосового штампа // Основания, фундаменты и механика грунтов. № 1, 1987. С.
6. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. – М.: Стройиздат, 1977. – 277 с.
7. Соколовский В.В. Статика сыпучей среды/ В. В. Соколовский. – М., 1960.

References

1. Tsytoich N. A. Mekhanika gruntov (kratkii kurs) [Soil mechanics (Short course)]. – М.: Высш. шк., 1983. – 287 p.
2. Igoshva L.A., Grishina A.S. Obzor osnovnykh metodov ukrepleniia gruntov osnovaniia [Review of the basic methods of the ground improvement]. PNRPU Bulletin Construction and architecture. 2016. Vol. 7, No. 2. Pp. 5-21. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.2.01.
3. Lyashenko P.A., Denisenko V.V. Fizicheskoe modelirovanie kompressionnogo szhatiia peska [Physical modeling of odometric compression of sand]// Nauchnyi zhurnal KubGAU [Elektronnyi resurs]. 2016. №122 (08). doi: 10.21515/1990-4665-122-047. (<http://ej.kubagro.ru/2016/08/pdf/47.pdf>).
4. Gol'dshtein M.N. Mekhanicheskie svoistva gruntov (Napriazhenno-deformativnye i prochnostnye kharakteristiki) [Mechanical properties of soils (Stress-strain and strength characteristics)]. – М.: Stroizdat, 1979. – 304 p.
5. Boldyrev G.G., Nikitin E.V. Deformatsiia peska v osnovanii polosovogo shtampa [Deformation of sand in the base of a strip stamp]// Osnovaniia, fundamenti i mekhanika gruntov. № 1, 1987. S.
6. Klein G.K. Stroitel'naia mekhanika sypuchikh tel [Building mechanics of loose bodies]. – М.: Stroizdat, 1977. – 277 p.
7. Sokolovskii V.V. Statika sypuchei sredy [Static of the granular medium]/ V.V. Sokolovskii. – М., 1960.

Об авторах

Ручкина, Элина Владимировна (Краснодар, Россия) – магистрант группы СТЗ-1543 направления 08.04.01 «Строительство», Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, e-mail: ruchkina.ellina@gmail.com)

Фролова, Елена Геннадьевна (Краснодар, Россия) – магистрант группы СТЗ-1543 направления 08.04.01 «Строительство», Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13, e-mail: goncharenkko.e@gmail.com)

About the authors

Ruchkina, Ellina Vladimirovna (Krasnodar, Russian Federation) – magistant gruppy STz-1543 napravleniia 08.04.01 «Stroitel'stvo» Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (350044, Krasnodar, Kalinina str, 13, e-mail: ruchkina.ellina@gmail.com)

Frolova, Elena Gennad'evna (Krasnodar, Russian Federation) – magistant gruppy STz-1543 napravleniia 08.04.01 «Stroitel'stvo» Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (350044, Krasnodar, Kalinina str, 13, e-mail: goncharenkko.e@gmail.com)