

УДК 624.154.1

Мирсайпов И.Т. – доктор технических наук, профессор

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Ибрагимов К.В. – студент

E-mail: kamibragim@mail.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Экспериментальные исследования моделей плитно-свайных фундаментов при режимном циклическом нагружении

Аннотация

Приводятся результаты исследований влияния воздействия переменной циклической нагрузки на модель плитно-свайного фундамент. При проведении лотковых испытаний определяются осадки, напряжения, деформации в грунте и в сваях. На основании результатов экспериментальных исследований построены графики зависимости осадки и деформаций от количества циклов нагружения. Приводится анализ графических зависимостей, который показывает, что напряжение в грунте и сваях изменяется в процессе циклического нагружения.

Ключевые слова: режимные циклические нагружения, деформация, грунт.

В современных условиях одним из способов увеличения несущей способности при высоких уровнях нагрузки и неблагоприятных грунтовых условиях является применение плитно-свайных фундаментов.

Исследования плитно-свайного фундамента в основном ограничиваются выявлением основных закономерностей поведения при кратковременном статическом нагружении. Наряду со статическими нагрузками основание плитно-свайного фундамента подвергается воздействию режимных циклических нагрузок, которые в ряде случаев являются основными определяющими безопасность зданий при их длительной эксплуатации.

В следствии этого возникает необходимость в изучении работы плитно-свайного фундамента при режимном циклическом нагружении.

Экспериментальные исследования проводились в объемном лабораторном лотке с размерами 100x100x100 см (рис. 1). Для исследования поведения плитно-свайного фундамента была использована теория моделирования.

Моделью ростверка плитно-свайного фундамента использовалась железобетонная плита с размерами 40x40x4 см, армированная проволочной арматурой диаметром 3 мм Вр-I.

Грунтом основания являлась супесь пластичная (модуль деформации $E=3,5$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi=33^\circ$, удельное сцепление $C=3$ кПа, плотность $\rho=1,45$ г/см³, влажность $W=11$ %).

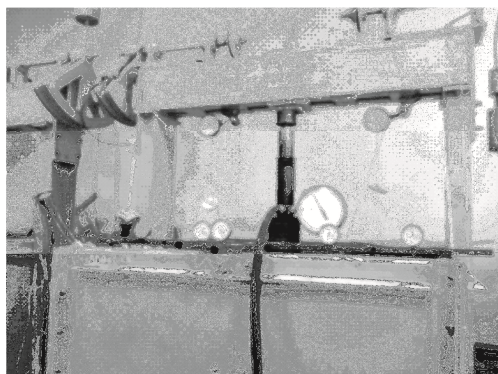


Рис. 1. Внешний вид испытательного стенда

Деформации межсвайного пространства и пространства ниже острия свай определялись грунтовыми датчиками. Сваи представляют собой полые пластиковые трубы диаметром 0,7 см, с длиной 40 см и толщиной стенки 0,1 см. Наклеенные по всей длине тензорезисторы определяли деформации свай. Схема расположения датчиков и свай указаны на рис. 2. Прочностные и деформативные характеристики: прочность на сжатие $R_{сж}=92,0$ МПа; модуль деформации $E_{сж}=7000$ МПа. При экспериментальных исследованиях в модели плитно-свайного фундамента принято количество свай в числе 30 шт. и шагом 7d. Установка свай осуществлялась путем послойной отсыпки и уплотнения грунта межсвайного пространства. В зависимости от режима испытания проводилось ступенчатое нагружение модели плитно-свайного фундамента с помощью гидравлического домкрата.

С помощью грунтовых датчиков определено давление в грунтовом массиве.

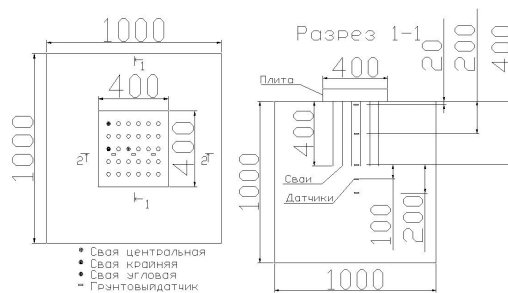


Рис. 2. Схема расположения свай и схема расположения грунтовых датчиков

При проведении экспериментальных исследований фиксировалась осадка плитно-свайного фундамента, деформации в характерных сваях, деформация грунта межсвайного пространства и под острием свай. Деформированное состояние основания плитно-свайного фундамента в процессе режимного циклического нагружения при проведенных работах позволили установить основные закономерности. Параметры режимного циклического нагружения приведены в таблице. Схемы блочного режимного циклического нагружения показаны на рис. 3.

Таблица

Режимы циклического нагружения

№	№ экспериментальной модели	Р макс, кг	Р мин, кг	Количество циклов N в блоках нагружения	Общее количество циклов нагружения N
1	ПСФ-1	600	300	5000	5000
2	ПСФ-2	500	250	1000	4000
		700	350	1000	
		900	450	1000	
		1000	500	1000	
3	ПСФ-3	700	350	1000	3805
4	ПСФ-4	900 кг	450	1000	6000
		1100	550	1000	
		1300	650	805	
		800	400	1000	
		900	450	1000	
		1000	500	1000	
5	ПСФ-5	1100	550	1000	1000
		1300	650	1000	
6	ПСФ-6	300	600	500	2300
		400	800	500	
		300	600	500	
		350	700	500	
		400	800	500	
		450	900	500	
		500	1000	300	

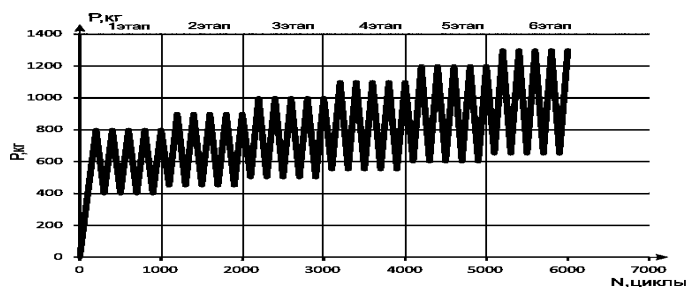


Рис. 3. Схема блочного режимного циклического нагружения

Изменение деформаций в сваях, расположенных в характерных зонах плитно-свайного фундамента, приведены на рисунках 4-6. Как видно из рисунков режимное циклическое нагружение приводит к увеличению деформаций в сваях. При этом значительные деформации в сваях происходят на первых циклах первого блока нагружения до 200-300 цикла. При дальнейших циклах происходит стабилизация деформаций в сваях. Наибольшие деформации свай происходят в верхней зоне. Так, например, в угловой свае на 1-ом цикле первого блока относительная деформация составляет $60 \cdot 10^{-5}$, на 300 цикле относительная деформация угловой свай в верхней зоне равна $63,5 \cdot 10^{-5}$, далее деформации стабилизируются и в конце последнего цикла первого блока относительная деформация составляет $65 \cdot 10^{-5}$. В момент перехода на следующий блок нагружения происходит скачкообразное увеличение деформаций на $1 \cdot 10^{-5}$, затем деформации развиваются аналогично первому блоку. В пределах второго блока прирост деформации за 1000 циклов составляет $9 \cdot 10^{-5}$. При переходе на следующие блоки выше описанные закономерности развития деформаций повторялись, но в каждом последующем блоке интенсивность развития деформаций уменьшается.

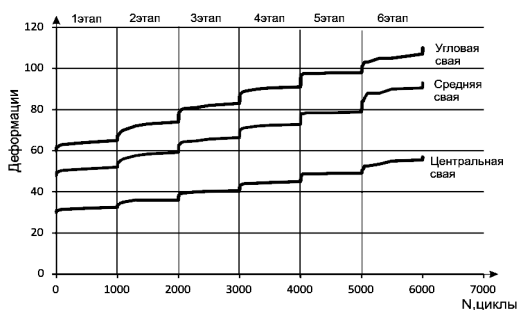


Рис. 4. Изменение деформаций при циклической нагрузке в сваях на уровне 2 см от подошвы ростверка

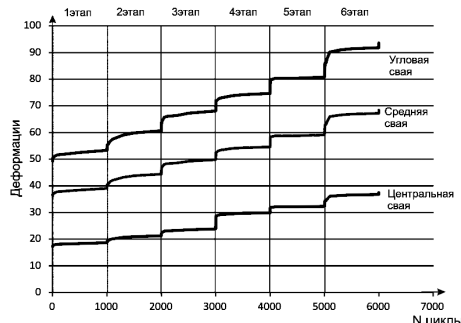


Рис. 5. Изменение деформаций при циклической нагрузке в сваях на уровне 20 см от подошвы ростверка

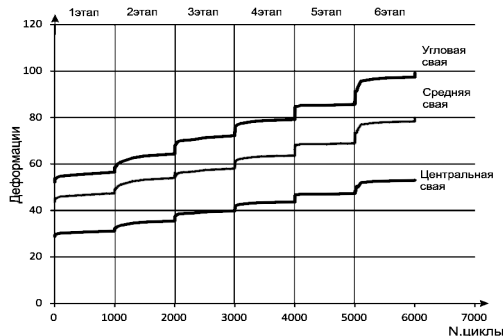


Рис. 6. Изменение деформаций при циклической нагрузке в сваях на уровне 40 см от подошвы ростверка

На рис. 7-9 приведены графики изменения деформаций в разных зонах грунта межсвайного пространства. Как видно из рисунков, происходит увеличение деформаций в грунте во всех зонах грунта по мере увеличения количества циклов нагружения до 200-300 цикла. При дальнейшей циклической нагрузки деформации в межсвайном грунте стабилизируются. При этом необходимо отметить, что наибольшее увеличение деформаций происходит под плитным ростверком и уменьшаются по глубине. Так, например, в верхней зоне межсвайного пространства на уровне 2 см от ростверка фундамента на 1-ом цикле первого блока относительная деформация составляет $48 \cdot 10^{-5}$, на 300 цикле $50,8 \cdot 10^{-5}$, далее происходит стабилизация деформаций и в конце последнего цикла первого блока относительная деформация составляет $52 \cdot 10^{-5}$. В момент перехода на следующий блок нагружения происходит скачкообразное увеличение относительных деформаций на $0,8 \cdot 10^{-5}$, затем деформации развиваются аналогично первому блоку. Во втором блоке прирост деформации за 1000 циклов составляет $7,2 \cdot 10^{-5}$. При переходе на следующие блоки выше описанные закономерности развития деформаций повторялись, но в каждом последующем блоке интенсивность развития деформаций уменьшается.

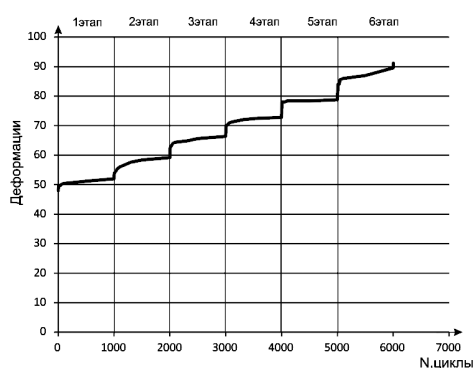


Рис. 7. Изменение деформации при циклическом нагружении в межсвайном пространстве на уровне 2 см от низкого ростверка

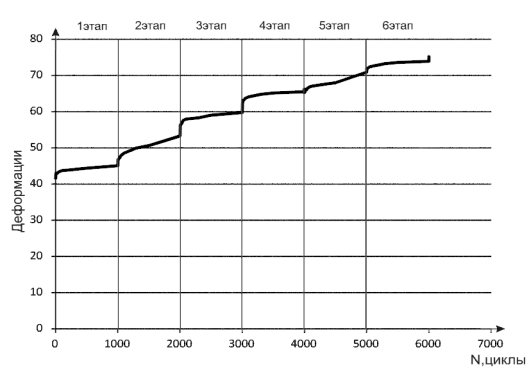


Рис. 8. Изменение деформации при циклическом нагружении в межсвайном пространстве на уровне 20 см от низкого ростверка

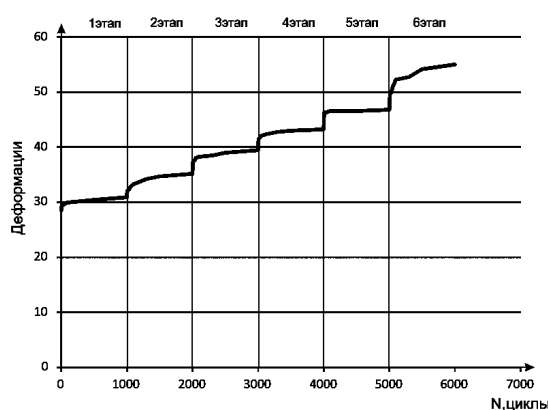


Рис. 9. Изменение деформации при циклическом нагружении в межсвайном пространстве на уровне 40 см от низкого ростверка

На рис. 10 и 11 показаны изменения деформаций в грунте основания свайного поля ниже острия свай. На первых этапах режимного циклического нагружения деформации грунта в плоскости острия свай превышает значения деформаций грунта в межсвайном пространстве. При нагрузке, близкой к предельной, деформации грунта под сваями значительно увеличиваются. Например, в первом блоке нагрузки на первом цикле деформации грунта на 10 см ниже острия свай составляют $60 \cdot 10^{-5}$, на 300 цикле первого

блока деформация равна $75 \cdot 10^{-5}$ и в конце первого блока относительная деформация грунта под острием свай составляет $76 \cdot 10^{-5}$. При переходе на следующие блоки выше описанные закономерности развития относительных деформаций повторялись. В каждом последующем блоке интенсивность развития деформаций уменьшается.

Сравнивая деформации под ростверком плитно-свайного фундамента с деформациями под острием свай утверждаем, что деформации под острием свай на первом цикле нагрузки первого блока больше на $12 \cdot 10^{-5}$, на 300 цикле $14,2 \cdot 10^{-5}$ и в конце первого блока на $14 \cdot 10^{-5}$. Далее при переходе к следующим блокам нагрузки закономерности повторяются, но с меньшей интенсивностью развития деформаций.

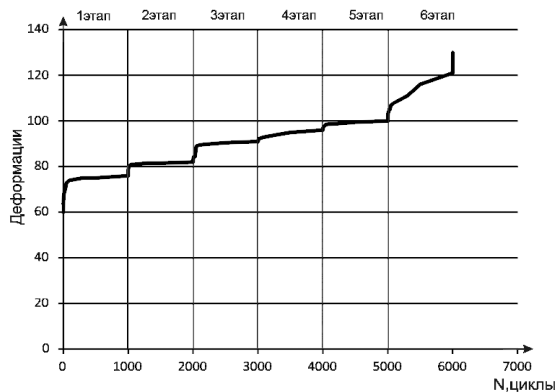


Рис. 10. Изменение деформации при циклическом нагружении на уровне 10 см ниже острия свай

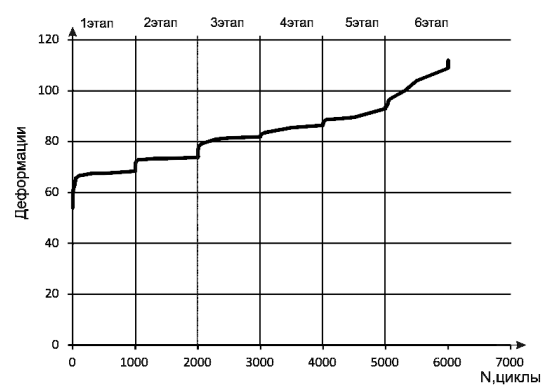


Рис. 11. Изменение деформации при циклическом нагружении на уровне 20 см ниже острия свай

Ниже показаны график осадок при режимном циклическом нагружении (рис. 12) и развитие осадок в пределах каждого блока нагружения (рис. 13). Деформации уплотнения в начальной стадии реализуются практически во всех зонах. Приращение деформаций уплотнения после 300 циклов нагружений практически прекращаются, что вызвало уменьшение интенсивности нарастания осадок, однако характер осадок на следующих блоках нагружения повторяются. Осадки основания, измеренные в процессе нагружения после различного количества повторной нагрузки изменяются аналогично деформациям грунта межсвайного пространства и грунта под острием свай.

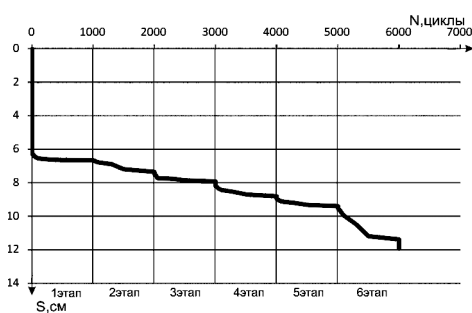


Рис. 12. График зависимости осадки при режимном циклическом нагружении

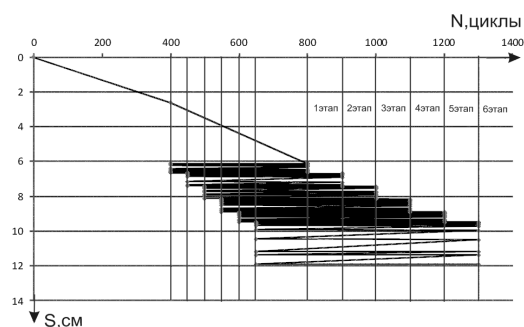


Рис. 13. Развитие осадок плитно-свайного фундамента на различных блоках нагружения

Модуль деформации области ниже острия свай уменьшается и составляет до 71 % от первоначального, в то время как в зоне межсвайного пространства увеличивается и составляет 122 % от первоначального модуля деформации. После проведения экспериментов и анализа несущей способности плитно-свайного фундамента при каждом эксперименте можно сказать, что в основном потеря несущей способности происходит из-за предельного состояния грунта ниже острия свай.

Выводы

При режимном циклическом наружении происходят деформации в сваях, в грунте межсвайного пространства и в массиве ниже острия свай. Установлено, что деформации в первом блоке в сваях и грунте межсвайного пространства после 300 циклов стабилизируются и дальнейшее развитие осадок происходит за счет деформаций массива грунта ниже острия свай. Потеря несущей способности происходит после достижения предельного состояния массива грунта ниже острия свай.

Список библиографических ссылок

1. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Особенности деформирования глинистых грунтов при циклическом трехосном сжатии // Международный журнал Геотехника, 2010, № 6. – С. 64-67.
2. Мирсаяпов И.Т., Шакиров М.И. Несущая способность и осадки моделей плитно-свайных фундаментов при циклическом нагружении // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: научное издание / Министерство образования и науки РФ, ФГБОУ ВПО МГСУ. – М., 2012. – С. 528-531.
3. Зарецкий Ю.К. Лекции по современной механике грунтов. – Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1989. – С. 607.
4. Мирсаяпов И.Т., Королева И.В. Исследование прочности и деформативности глинистых грунтов при длительном трехосном сжатии // Известия КГАСУ, 2009, № 2 (12). – С. 167-172.
5. Мирсаяпов И.Т., Шакиров М.И. Экспериментальные исследования моделей плитно-свайных фундаментов при циклическом нагружении / Достижения, проблемы и перспективные направления развития для теории и практики механики грунтов и фундаментостроения: Материалы XIII Международного симпозиума по реологии грунтов и Международного совещания заведующих кафедрами механики грунтов, оснований и фундаментов, подземного строительства и гидротехнических работ, инженерной геологии и геоэкологии // КГАСУ. – Казань, 2012. – С. 145.
6. Крыжановский А.Л. Механическое поведение грунтов в условиях пространственного напряженного состояния // Основания, фундаменты, механика грунтов, 1983, № 1. – С. 23-27.
7. Мирсаяпов И.Т., Ибрагимов К.В. Несущая способность и деформации моделей плитно-свайных фундаментов при режимных циклических // XIV Международный симпозиум по реологии грунтов «Перспективные направления развития теории и практики в реологии и механике грунтов», 2014. – С. 155-162.
8. Мирсаяпов И.Т., Попов А.О. Оценка прочности и деформативности армированных грунтовых оснований // Международный журнал «Геотехника», 2010, № 4. – С. 58-67.

Mirsayapov I.T. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: mirsayapov1@mail.ru

Ibragimov K.V. – student

E-mail: kamibragim@mail.ru

Kazan State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Experimental studies of models of plate-pile foundations under cyclic loading regime

Resume

The paper presents the results of studies of the effect of the variable effects of cyclic loading on the model plate-pile foundation and its foundation on the ground of interconnectedness space and on the ground, located at the edge of the pile. In conducting the tests defined trough deformation in the soil and on stilts, as well as the very foundation of the sediment. Application of load cycles is performed, in this case from row to row cycles varying

load. Changes in rainfall quantities and strains accounted for at each step. Based on the data patterns of behavior of the soil during successive cycles with load changes were analyzed. After processing the experimental results rainfall and carrying capacity, and the deformations in the piles, soil interconnectedness space and in soils located below the tip of the piles and the number of loading cycles were plotted. Analysis of plots suggests that for cyclic alternating load deformation of the diaphragm and pile change, wherein in the first cycles sludge load plate-pile foundation and deformation of its elements, as well as in the soil is greater than in subsequent stages of the load.

Keywords: modal cyclic loading, deformation, soil.

Reference list

1. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Features of deformation of clay soils under cyclic triaxial compression // *International journal Geotechnic*, 2010, № 6. – P. 64-67.
2. Mirsayapov I.T., Shakirov M.I. Bearing capacity and rainfall patterns plate-pile foundations under cyclic loading // *Integration, partnership and innovation in construction science and education: a scientific edition / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, FSBEI HPO MGSU. – M., 2012. – P. 528-531.*
3. Zaretsky Y.K. Lectures on modern soil mechanics. – Rostov-on-Don: Izd. Growth. University Press, 1989. – 607 p.
4. Mirsayapov I.T., Koroleva I.V. Investigation of strength and deformability of clay soils with prolonged triaxial compression // *News of the KSUAE*, 2009, № 2 (12). – P. 167-172.
5. Mirsayapov I.T., Shakirov M.I. Experimental studies of models of plate-pile foundations under cyclic loading // *Achievements, challenges and future directions for the development of the theory and practice of soil mechanics and foundation engineering: Proceedings of XIII International Symposium on the rheology of soils and the International Meeting of heads of departments of soil mechanics and foundation, underground construction and engineering works, Engineering Geology and Geoecology: KGASU. – Kazan, 2012. – P. 145.*
6. Kryzhanovsky A.L. Mechanical behavior of soils in conditions of spatial stress state // *Bases, foundations, soil mechanics*, 1983, № 1. – P. 23-27.
7. Mirsayapov I.T., Ibragimov K.V. The bearing capacity and deformation models raft-pile foundation under cyclic regime // *XIV International Symposium on the rheology of soils «Perspective directions of development of the theory and practice of rheology and Soil Mechanics»*, 2014. – P. 155-162.
8. Mirsayapov I.T., Popov A.O. Assessment of strength and deformability of reinforced ground Founded // *International journal Geotechnic*, 2010, № 4. – P. 58-67.