

УДК 624.154.1

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-294-298

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПЛИТНО-СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА ПРИ ДЕЙСТВИИ ВНЕЦЕНТРЕННОЙ НАГРУЗКИ

В. М. Дереховский

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

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований работы плитно-свайного фундамента при действии внецентренной нагрузки. Исследование является продолжением работ, посвященных изучению взаимодействия свай в составе свайного поля и оптимизации параметров плитно-свайных фундаментов. Выполнена серия лабораторных испытаний одиночных модельных свай различной длины и диаметра с последующим анализом их деформативности и несущей способности. На основании экспериментальных данных разработана программа дальнейших исследований плитно-свайного фундамента при внецентренном приложении нагрузки. Установлено влияние длины свай на характер развития осадок и перераспределение усилий в основании. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании плитно-свайных фундаментов высотных зданий, работающих в условиях действия изгибающих моментов и горизонтальных нагрузок.

Ключевые слова: плитно-свайной фундамент, свайное поле, внецентренная нагрузка, экспериментальные исследования, осадка свай, взаимодействие свай, несущая способность, моделирование

INVESTIGATION OF PILED RAFT FOUNDATION BEHAVIOR UNDER ECCENTRIC LOADING

V. M. Derekhovskii

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Annotation. The paper presents the results of experimental studies of piled raft foundation behavior under eccentric loading. The study continues previous research devoted to the interaction of piles within pile groups and optimization of piled raft foundation parameters. A series of laboratory tests of single model piles with different lengths and diameters was carried out. The obtained experimental results were used for the development of a further research program devoted to piled raft foundations under eccentric loading. The influence of pile length on settlement development and redistribution of forces within the soil foundation was established. The obtained results may be applied in the design of piled raft foundations for high-rise buildings subjected to bending moments and lateral loads.

Keywords: piled raft foundation, eccentric loading, pile group, settlement, bearing capacity, experimental research, modeling

Введение

Плитно-свайные фундаменты широко применяются при строительстве многоэтажных и высотных зданий благодаря высокой надежности и способности воспринимать значительные вертикальные и горизонтальные нагрузки [1, 2]. Особую актуальность при проектировании подобных фундаментов приобретает учет неравномерного распределения усилий в сваях, возникающего при действии внецентренных нагрузок [3].

В реальных условиях эксплуатации зданий нагрузки на фундамент редко являются строго центральными. Воздействие ветровых нагрузок, эксцентриситет расположения несущих конструкций, неравномерная жесткость каркаса и асимметрия эксплуатационных нагрузок приводят к возникновению изгибающих моментов и кренов фундаментной системы. В результате происходит перераспределение усилий между сваями, что оказывает существенное влияние на напряженно-деформированное состояние основания [4].

Ранее авторами были выполнены исследования, посвященные повышению эффективности использования несущей способности свай и оптимизации свайных полей плитно-свайных фундаментов [2]. Было установлено, что рациональный подбор длины и расположения свай позволяет существенно снизить неравномерность осадок и повысить эффективность работы свайного поля.

Настоящая работа является продолжением указанных исследований и посвящена постановке и предварительному экспериментальному изучению работы плитно-свайного фундамента при действии внецентренной нагрузки.

Основная часть

Целью работы является экспериментальное исследование влияния внецентренного нагружения на работу плитно-свайного фундамента.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- проведение испытаний одиночных свай различной длины;
- определение зависимости «нагрузка–осадка»;
- анализ влияния длины свай на несущую способность;
- определение рациональных параметров свайного поля;
- подготовка экспериментальной базы для исследования плитно-свайного фундамента при действии изгибающего момента;
- разработка расчетной схемы численного моделирования.

Материалы и методы исследования:

Экспериментальная установка. Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке «Машина фундаментная МФ-1».

В качестве основания использовался однородный песчаный грунт средней плотности, сформированный методом послойной укладки с обеспечением одинаковой плотности по объему модели [5].

Испытания выполнялись ступенчатым нагружением с фиксацией осадок на каждой ступени нагрузки.

Характеристики модельных свай:

В ходе исследования испытывались модели свай диаметром 48, 57, 76 мм. Длина свай составляла, мм: 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500.

Нагрузка прикладывалась ступенчато до достижения предельных осадок или резкого увеличения деформаций основания. Всего было проведено порядка 100 испытания моделей свай для достижения нормальной сходимости и достоверности результатов.

Результаты и обсуждение

Испытания свай длиной 800 мм. Результаты испытаний свай длиной 800 мм показали сравнительно низкую жесткость системы и интенсивное развитие осадок при увеличении нагрузки.

Для одной из свай диаметром 48 мм при нагрузке 1200 Н осадка составила 96,47 мм, а дальнейшее увеличение нагрузки сопровождалось резким ростом деформаций.

В отдельных испытаниях потеря устойчивости основания наблюдалась уже при нагрузках 1000–1400 Н, что свидетельствует о недостаточной эффективности коротких свай в условиях значительных нагрузок.

Испытания свай длиной 900–1100 мм. Увеличение длины свай до 900–1100 мм привело к существенному снижению осадок и повышению предельной несущей способности.

Для свай длиной 1000 мм при нагрузке 1500 Н осадка составляла порядка 8–15 мм, а интенсивный рост деформаций наблюдался лишь после достижения нагрузок 1800–2200 Н.

Сваи длиной 1100 мм продемонстрировали более устойчивую работу основания и плавный характер развития осадок. Предельные нагрузки достигали 2200–2300 Н при относительно умеренных деформациях.

Испытания свай длиной 1200–1500 мм. Наиболее эффективную работу показали сваи длиной 1200–1500 мм.

Для свай длиной 1300 мм наблюдалось значительное повышение несущей способности основания. Предельные нагрузки в отдельных испытаниях достигали 3000–3200 Н.

Сваи длиной 1400 мм обеспечивали устойчивую работу системы вплоть до нагрузок 3200–3400 Н. При этом характер деформаций оставался относительно плавным без мгновенной потери несущей способности.

Максимальные значения несущей способности были получены при испытаниях свай длиной 1500 мм. Для свай диаметром 57 мм предельные нагрузки достигали 4400–4600 Н.

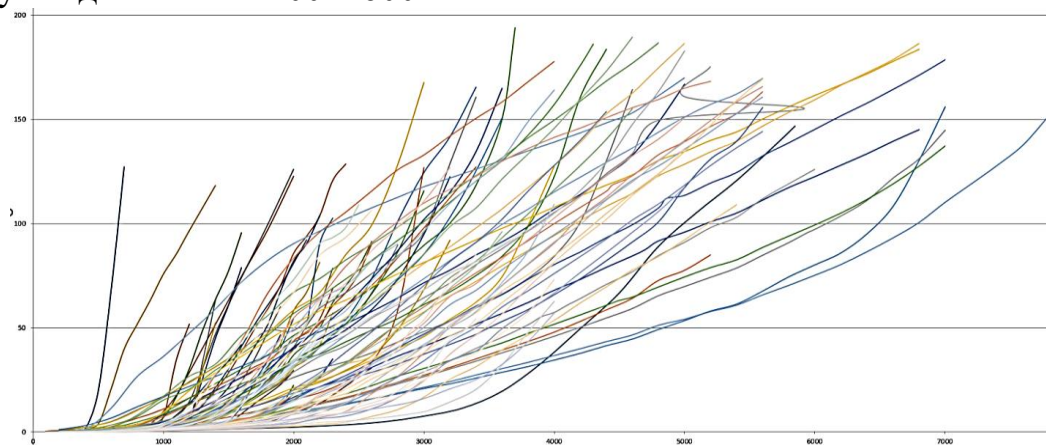


Рис. 1. Графики нагрузка-осадка для каждого испытания

Анализ экспериментальных зависимостей «нагрузка–осадка» показал наличие трех характерных стадий работы свай:

- упругая стадия, характеризующаяся линейным ростом осадки;
- стадия развития пластических деформаций грунта;
- предельная стадия с интенсивным ростом осадок.

Установлено, что увеличение длины свай приводит:

- к снижению относительных осадок;
- к повышению предельной несущей способности;
- к более равномерному перераспределению напряжений в основании;
- к повышению устойчивости системы к развитию пластических деформаций [6].

Полученные результаты подтверждают эффективность применения более длинных свай в составе плитно-свайных фундаментов, работающих при значительных вертикальных и внецентренных нагрузках [2, 4].

Следующим этапом исследования является моделирование работы плитно-свайного фундамента при внецентренном приложении нагрузки.

Предполагается исследование:

- перераспределения усилий между сваями;
- изменения осадок фундаментной плиты;
- возникновения кренов;
- влияния эксцентриситета нагрузки на напряженно-деформированное состояние основания [7].

Экспериментальная модель включает:

- фундаментную плиту;
- группу свай различной длины;
- песчаное основание;
- систему ступенчатого нагружения с регулируемым эксцентриситетом.

Нагрузка будет прикладываться относительно центра тяжести свайного поля с различными значениями эксцентриситета. Параллельно с физическими испытаниями планируется выполнение численного моделирования методом конечных элементов [3].

Расчетная модель будет учитывать:

- нелинейные свойства грунта;
- контактные взаимодействия свай с основанием;
- перераспределение усилий в свайном поле;
- изменение жесткости системы при росте нагрузки.

Численное моделирование позволит сопоставить расчетные и экспериментальные данные, а также уточнить закономерности работы плитно-свайного фундамента при внецентренном нагружении.

Заключение

Выполненные исследования подтвердили влияние длины свай на несущую способность и деформативность основания. Установлено, что увеличение длины свай способствует снижению осадок и повышению устойчивости фундаментной системы.

Наиболее эффективную работу показали сваи длиной 1300–1500 мм, обеспечивающие устойчивую работу основания при высоких уровнях нагрузки.

Полученные экспериментальные данные позволяют определить рациональные параметры свайного поля и являются основой для дальнейшего моделирования работы плитно-свайного фундамента при действии внецентренной нагрузки.

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании плитно-свайных фундаментов высотных зданий.

Список источников

1. Шулятьев, О. А. Основные принципы расчета и конструирования плитных и свайных фундаментов высотных зданий: дис. ... д-ра техн. наук / О. А. Шулятьев. – Москва, 2019. – 352 с.
2. Скибин, Г. М. Эффективность использования несущей способности свай при формировании свайного поля плитно-свайного фундамента 21-этажного жилого дома / Г. М. Скибин, В. М. Дереховский // *Construction and Geotechnics*. – 2023. – Т. 14, № 3. – С. 24-36. DOI: 10.15593/2224-9826/2023.3.03.
3. Bull J.W. Numerical analysis and modelling in geomechanics. – Boca Raton: CRC Press, 2014. – 397 p.
4. Tan, Y.C., Chow, C.M., Gue, S.S. Piled raft with different pile length for medium-rise buildings on very soft clay // *Proceedings of the Sixteenth International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. – Burke: IOS Press, 2005. – P. 2045–2049.
5. Espinoza, J.P., Tamayo, J.P. Numerical simulation and parametric study of pile groups under lateral loads // *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. – 2023. – Vol. 45.
6. Боков, И. А. Взаимовлияние свай через грунт: сравнение аналитических и численных оценок / Б. И. Аоков, В. Г. Федоровский // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2016. – № 10. – С. 19-23.
7. Liu, X., Cheng, G., Wang, B., Lin, S. Optimum Design of Pile Foundation by Automatic Grouping Genetic Algorithms // *International Scholarly Research Notices*. – 2012. – Vol. 2012. – Article ID 678329. DOI: 10.5402/2012/678329.

© Дереховский В. М., 2026