



УДК 624.154.1

Ю. С. ГРИГОРЬЕВ, канд. техн. наук, проф. кафедры архитектуры;
В. В. ФАТЕЕВ, ст. преп. кафедры архитектуры

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ГОРИЗОНТАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ СВАЙНО-ГРУНТОВЫХ ДИАФРАГМ В МАССИВЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Ключевые слова: глинистый грунт, модель грунтового массива, модель свайно-грунтовой диафрагмы, несущая способность свай, коэффициент кустового эффекта.

Приводятся результаты экспериментальных исследований работы горизонтально нагруженных моделей свайно-грунтовых диафрагм в массиве глинистого грунта. Выявлена зависимость несущей способности горизонтально нагруженных свайно-грунтовых диафрагм, удельной несущей способности свай в диафрагмах, а также величины коэффициента кустового эффекта от количества свай в диафрагме.

Экспериментальные исследования, представленные в настоящей работе, являются частью комплекса исследований по физическому и математическому моделированию работы горизонтально нагруженных свайных фундаментов зданий и сооружений различного назначения [1–11].

Для экспериментов использовался сконструированный авторами лоток прямоугольной формы размерами 1,6×0,40×1,2 м, объемом $V = 0,77 \text{ м}^3$, предназначенный для моделирования в нем работы однорядных свайных фундаментов на горизонтальные нагрузки, действующие вдоль рядов свай, позволяющий проводить испытания моделей свайно-грунтовых со сваями сечением 30×30 мм, длиной от 60 см до 100 см, с количеством моделей свай в ряду от 2 до 12. Подробное описание экспериментальной установки; конструкции моделей свай и свайных фундаментов; методики формирования модели грунтового массива из глинистого грунта; методики погружения моделей свай в грунтовой массив; методики выполнения экспериментальных исследований опубликованы в нескольких работах авторов [1–4].

В выполненных экспериментах исследовалась работа горизонтально нагруженных моделей одиночных свай и свайно-грунтовых диафрагм, состоящих из 2, 4, 6 и 8 моделей свай длиной 60 см (рис. 1, 2 цв. вклейки), разработанных с учетом одобренной VIII Международным конгрессом по механике грунтов и фундаментостроению, проходившем в 1973 году в Москве, методики испытаний малоразмерных моделей фундаментов, выполненных в масштабе 1/10–1/20 [12].

Модели ростверков были выполнены из двух неравнополочных стальных уголков с монтирующейся на них сверху опорной стальной плитой. Жесткое сопряжение голов свай между собой и с ростверком обеспечивалось с помощью деревянных призматических элементов с поперечным сечением 30×60 мм, вставляемых между сваями, и тонких стальных пластинок, предназначенных для



того, чтобы выбрать при необходимости небольшие вертикальные зазоры между сваями и призматическими элементами (рис. 3, 4 цв. вклейки).

Модель грунтового массива была выполнена из суглинка со следующими характеристиками: плотность $\rho = 1,70 \text{ г/см}^3$; плотность частиц $\rho_s = 2,71 \text{ г/см}^3$; коэффициент пористости $e = 0,807$; влажность $w = 13,5\%$; сцепление $c = 28 \text{ кПа}$; угол внутреннего трения $\varphi = 25^\circ$; модуль деформации $E = 3,5 \text{ МПа}$, что соответствовало средним значениям характеристик лессовых суглинков, распространенных в пределах нагорной части Нижнего Новгорода.

Формирование модели грунтового массива выполнялось послойным трамбованием грунтовой пасты прямоугольной металлической трамбовкой массой 6 кг. Между слоями уплотнявшегося грунта в створе с боковой поверхностью моделей свайного ряда были выполнены прослойки из порошкообразного мела шириной 10 мм, толщиной 0,4 мм, предназначенные для исследования характера деформации и разрушения несущего массива околосвайного грунта (рис. 5–12 цв. вклейки).

Погружение моделей призматических свай на заданную глубину выполнялось забивкой ручным молотом весом 8 кг. Количество ударов молота, необходимых для забивки модели, примерно соответствовало количеству ударов дизель-молота при забивке на строительных площадках призматических свай длиной 6 м, с поперечным сечением 300×300 мм (рис. 1, 2 цв. вклейки). Горизонтальные перемещения моделей свайно-грунтовых диафрагм измерялись в уровне приложения горизонтальной нагрузки прогибомером 6-ПАО, вертикальные перемещения измерялись двумя индикаторами часового типа ИЧ-10, смонтированных у противоположных концов ростверков.

Результаты выполненных испытаний, представленные в виде графиков на рис. 13–15 цв. вклейки, позволили установить степень влияния количества свай на сопротивление моделей диафрагм действию горизонтальных нагрузок.

Анализ выполненных исследований проводился для случаев, когда величина горизонтальных перемещений ростверка в уровне приложения нагрузки достигала значения $\Delta_r = 1,0 \text{ мм}$, принятого в качестве критерия в ряде исследований [13, 14], в соответствии с которыми значение величины необходимого для анализа горизонтального перемещения модели определяется из условия:

$$\Delta_r = \Delta'_r \cdot a_c, \quad (1)$$

где: Δ'_r – допустимая величина горизонтального перемещения сваи, принимаемая равной 10–15 мм; a_c – множитель геометрического подобия размера натурной сваи и ее модели, принятый в выполненных испытаниях равным 1/10.

В результате выполненных экспериментов было установлено следующее (рис. 5–12 цв. вклейки):

1. Модели свайно-грунтовых диафрагм испытывают: 1) горизонтальные перемещения, развивающиеся в результате деформации грунтового основания и конечной жесткости свай; 2) крен, возникающий из-за вертикальных перемещений свай, работающих на вдавливание и на выдергивание; 3) отрыв от массива околосвайного грунта задней боковой поверхности свай диафрагмы, что в полной мере соответствует работе натуральных одиночных свай в полевых условиях при горизонтальных нагрузках.



2. Сопротивление моделей диафрагм, при величине горизонтального перемещения в уровне приложения нагрузки, равной $\Delta_r = 1,0$ мм, составило (рис. 13 цв. вклейки):

- 1) одиночная свая – 0,224 кН;
- 2) группа из 2 свай – 0,849 кН;
- 3) свайно-грунтовая диафрагма из 4 свай – 2,033 кН;
- 4) свайно-грунтовая диафрагма из 6 свай – 4,462 кН;
- 5) свайно-грунтовая диафрагма из 8 свай – 4,80 кН.

3. Сопротивление горизонтально нагруженных фундаментов, при горизонтальном перемещении в уровне приложения нагрузки равном $\Delta_r = 1,0$ мм, возрастает непропорционально увеличению в фундаментах количества свай:

- 1) увеличение количества свай с 1 до 2 свай приводит к увеличению сопротивления группы в 3,8 раза;
- 2) с 1 до 4 свай – к увеличению сопротивления свайно-грунтовой диафрагмы в 9,1 раза;
- 3) с 1 до 6 свай – к увеличению сопротивления свайно-грунтовой диафрагмы в 19,9 раза;
- 4) с 1 до 8 свай – к увеличению сопротивления свайно-грунтовой диафрагмы в 21,4 раза.

4. С увеличением числа свай в модели диафрагме средняя горизонтальная нагрузка $H_{ср}$, приходящаяся на одну сваю, увеличивается за счет совместной работы свай, грунта, защемленного между сваями, и околосвайного грунта.

Вместе с тем средняя горизонтальная нагрузка $H_{ср}$, приходящаяся на одну сваю в диафрагме из 8 свай снижается в результате изменения механизма работы диафрагмы из-за разрушения грунтового массива сваями № 8-4, работающими на выдергивание.

5. Крен моделей фундаментов при величине горизонтального перемещения в уровне приложения нагрузки, равной $\Delta_r = 1,0$ мм, составил (рис. 14 цв. вклейки):

- 1) одиночная свая – $3,92 \cdot 10^{-3}$;
- 2) группа из 2 свай – $2,98 \cdot 10^{-3}$;
- 3) свайно-грунтовая диафрагма из 4 свай – $0,68 \cdot 10^{-3}$;
- 4) свайно-грунтовая диафрагма из 6 свай – $0,25 \cdot 10^{-3}$;
- 5) свайно-грунтовая диафрагма из 8 свай – $0,18 \cdot 10^{-3}$.

Таким образом, увеличение количества свай в ряду существенно повышает жесткость фундамента и его устойчивость на опрокидывание.

6. При небольших горизонтальных перемещениях и кренах однорядные горизонтально нагруженные свайные фундаменты работают как свайно-грунтовые конструкции-диафрагмы, состоящие из свай, объединенных жестким ростверком, с защемленным между сваями грунтом.

7. При больших горизонтальных перемещениях: 1) увеличивается крен фундаментов-диафрагм; 2) защемленный между сваями грунт и околосвайный массив грунта разрушаются (рис. 15 цв. вклейки).

8. Разрушение системы «модель свайного фундамента – грунтовое основание» происходит в результате потери фундаментом устойчивости из-за истощения несущей способности крайней сваей в ряду, работающей на выдергивание.

9. Грунт, защемленный между сваями, деформируясь, перемещается вместе со сваями с постепенным вовлечением в работу междусвайного грунта на

**К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА
«ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ
ГОРИЗОНТАЛЬНО НАГРУЖЕННЫХ МОДЕЛЕЙ СВАЙНО-ГРУНТОВЫХ
ДИАФРАГМ В МАССИВЕ ГЛИНИСТОГО ГРУНТА»**



Рис. 1. Погружение 4 свай с инвентарным наголовником в массив глинистого грунта с помощью молота весом 8 кг и специального кондуктора, обеспечивающего забивку свай в одной вертикальной плоскости

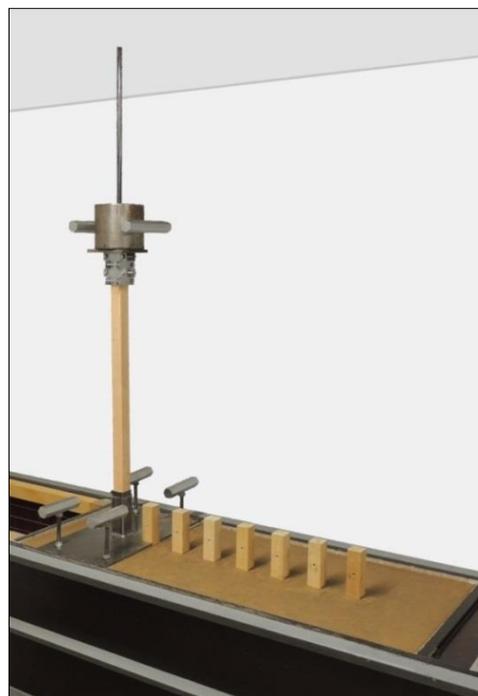


Рис. 2. Погружение 8 свай с инвентарным наголовником в массив глинистого грунта с помощью молота весом 8 кг и специального кондуктора, обеспечивающего забивку свай в одной вертикальной плоскости

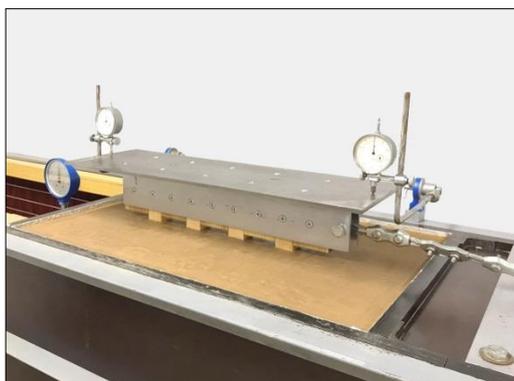


Рис. 3. Модель фундамента в виде свайно-грунтовой диафрагмы из 4 свай, подготовленная к испытаниям



Рис. 4. Модель свайно-грунтовой диафрагмы из 8 свай, подготовленная к испытаниям



Рис. 5. Массив из лессового суглинка с деформированной областью околосвайного грунта



Рис. 6. Деформация несущей области околосвайного грунта. Отрыв тыльной части боковой поверхности сваи от грунта



Рис. 7. Деформация несущей области околосвайного грунта. Отрыв тыльной части боковой поверхности свай от грунта

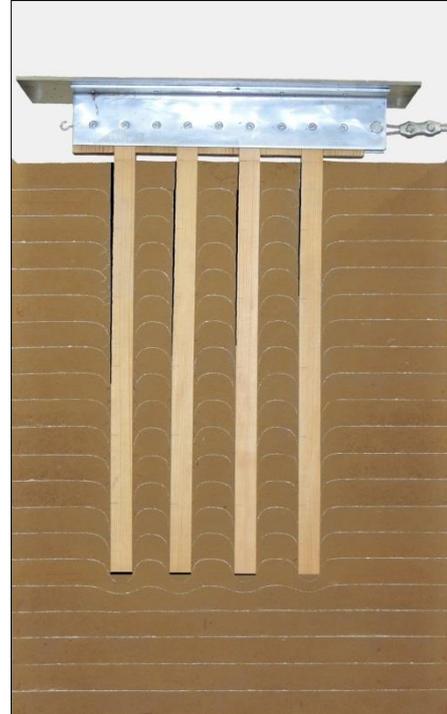


Рис. 8. Деформация несущей области околосвайного грунта. Отрыв тыльной части боковой поверхности свай от грунта



Рис. 9. Диафрагма из 6 свай в массиве из лессового суглинка с деформированной после испытаний областью околосвайного грунта



Рис. 10. Диафрагма из 6 свай с деформированной после испытаний областью околосвайного грунта и с отрывом тыльной части боковой поверхности свай от грунтового массива



Рис. 11. Диафрагма из 8 свай в массиве из лессового суглинка с деформированной после испытаний областью околосвайного грунта

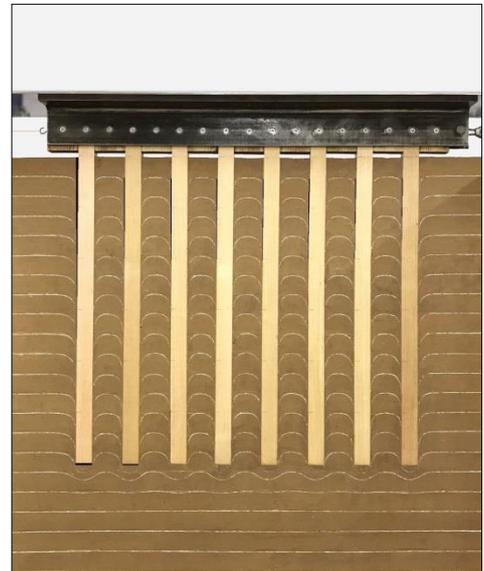


Рис. 12. Диафрагма из 6 свай с деформированной после испытаний областью околосвайного грунта и с отрывом тыльной части боковой поверхности свай от грунтового массива

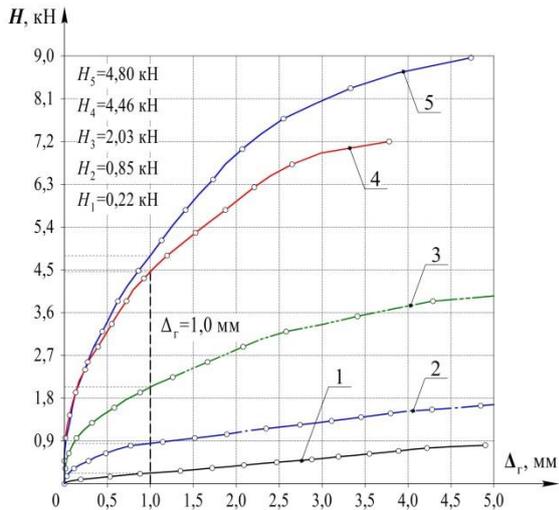


Рис. 13. Зависимость горизонтальных перемещений свайно-грунтовых диафрагм Δ_r , мм от горизонтальной нагрузки H , кН: 1 – одиночная модель свай; 2 – ряд из 2 свай; 3 – ряд из 4 свай; 4 – ряд из 6 свай; 5 – ряд из 8 свай

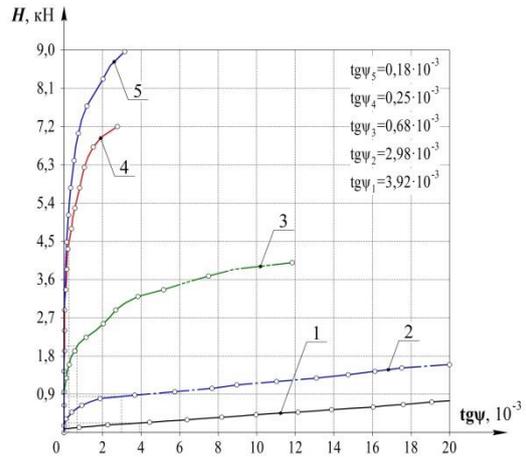


Рис. 14. Зависимость крена свайно-грунтовых диафрагм $tg\psi$ от горизонтальной нагрузки H , кН: 1 – одиночная модель свай; 2 – ряд из 2 свай; 3 – ряд из 4 свай; 4 – ряд из 6 свай; 5 – ряд из 8 свай

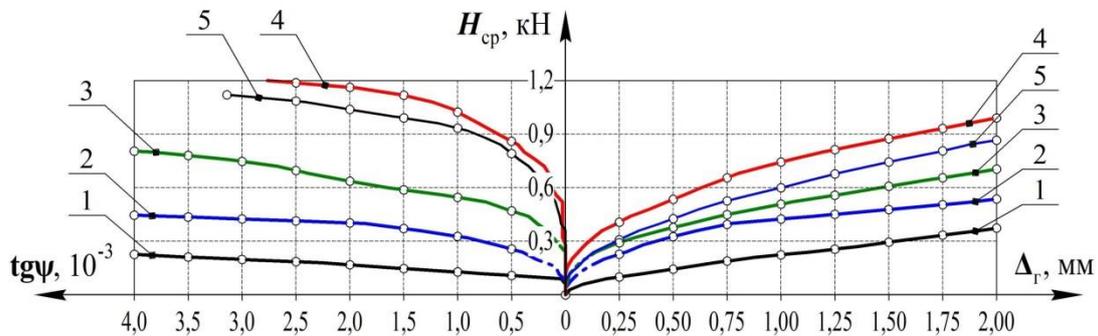


Рис. 15. Зависимости крена $tg\psi$ и горизонтальных перемещений свайно-грунтовых диафрагм Δ_r , мм от средней горизонтальной нагрузки H_{cp} , кН: 1 – одиночная модель свай; 2 – ряд из 2 свай; 3 – ряд из 4 свай; 4 – ряд из 6 свай; 5 – ряд из 8 свай

большой глубине по мере увеличения горизонтальных перемещений фундамента до значений, превышающих величину $\Delta_r = 1,0$ мм. При этом происходит срез заземленного между сваями грунта в вертикальных свайно-грунтовых диафрагмах, что приводит к снижению сопротивления горизонтальным нагрузкам свайно-грунтовых диафрагм.

10. Величина коэффициента кустового эффекта $K_{кэ}$, определяющегося по формуле (2), учитывающего взаимное влияние свай при жесткой заделке голов свай в ростверке, в свайных горизонтально нагруженных ленточных фундаментах с однорядным расположением свай, больше единицы. При этом величина коэффициента $K_{кэ}$, не являясь величиной постоянной, зависит от количества свай в диафрагме (рис. 1, 2).

$$K_{кэ} = H/n \cdot H_0, \quad (2)$$

где H – сопротивление горизонтально нагруженного фундамента и H_0 – сопротивление горизонтальной нагрузке одиночной сваи со свободной головой при предельном горизонтальном перемещении свай в уровне приложения нагрузки; n – количество свай в фундаменте.

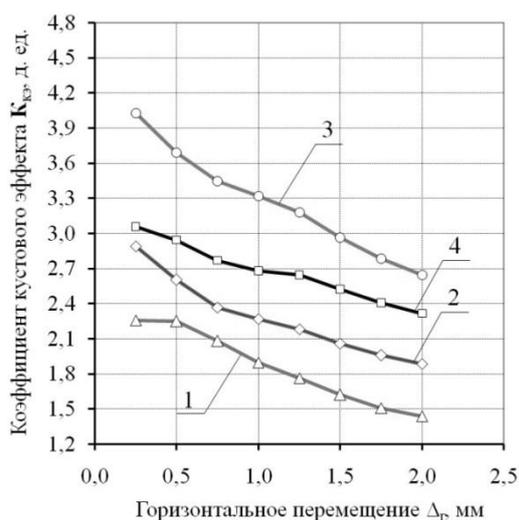


Рис. 1. Зависимости коэффициента кустового эффекта $K_{кэ}$ от величины горизонтального перемещения Δ_r , мм, полученные по результатам испытаний моделей свайно-грунтовых диафрагм: 1 – ряд из 2 свай; 2 – ряд из 4 свай; 3 – ряд из 6 свай; 4 – ряд из 8 свай

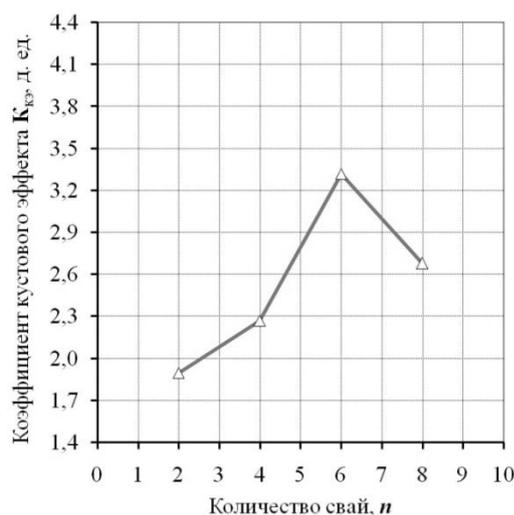


Рис. 2. Зависимости коэффициента кустового эффекта $K_{кэ}$ от количества свай n в фундаменте, полученные по результатам испытаний моделей свайно-грунтовых диафрагм

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Григорьев, Ю. С. Моделирование работы свайных фундаментов в лабораторных условиях / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 2 (58). – С. 57–61.



2. Григорьев, Ю. С. Экспериментальная установка для испытаний моделей горизонтально нагруженных свайных фундаментов / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 3 (59). – С. 56–61.

3. Григорьев, Ю. С. О методике испытаний моделей призматических свай в массиве глинистого грунта вертикальными нагрузками в лабораторных условиях / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 4 (59). – С. 36–41.

4. Григорьев, Ю. С. Моделирование работы свайных фундаментов в лабораторных и в полевых условиях / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2023. – 150 с. – ISBN 978-5-528-00539-3. – Текст : непосредственный.

5. Григорьев, Ю. С. Компьютерная модель работы висячей призматической сваи в массиве глинистого грунта / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 1 (61). – С. 36–41.

6. Григорьев, Ю. С. Верификация компьютерной модели забивной призматической сваи в многослойном грунтовом основании / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2 (62). – С. 79–84.

7. Григорьев, Ю. С. Исследования работы горизонтально нагруженных фундаментов с линейно расположенными призматическими сваями в программном комплексе «MIDAS» / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 3 (63). – С. 52–57.

8. Григорьев, Ю. С. Исследования работы ленточных свайных фундаментов на горизонтальные нагрузки, действующие вдоль рядов свай, в программном комплексе «MIDAS GTS NX» / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 4 (64). – С. 34–43.

9. Фатеев, В. В. Математическое моделирование работы ленточных свайных фундаментов на горизонтальные нагрузки, действующие поперёк рядов свай, в программном комплексе «MIDAS GTS NX» / В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 4 (64). – С. 44–49.

10. Григорьев, Ю. С. Исследования эффективности работы горизонтально нагруженных свайных фундаментов подпорных сооружений / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 1 (65). – С. 48–51.

11. Григорьев, Ю. С. Исследования взаимного влияния свай в горизонтально нагруженных свайных фундаментах / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2023. – № 2 (66). – С. 50–60.

12. Труды к VIII Международному конгрессу по механике грунтов и фундаментостроению, [6-12 августа 1973 г.] / под редакцией Н. А. Цытовича ; Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. Нац. ассоц. СССР по механике грунтов и фундаментостроению. – Москва : Стройиздат, 1973. – 423 с. : ил. – Текст : непосредственный.



13. Дубровщенко, Г. А. Моделирование работы буронабивных свай с использованием аффинного и приближенного подобия / Г. А. Дубровщенко. – Текст : непосредственный // Исследования по основаниям, фундаментам и механике грунтов. – Киев : Будивильник, 1969. – С. 95–100.

14. Знаменский, В. В. Инженерный метод расчёта горизонтально нагруженных групп свай : учебное пособие для вузов / В. В. Знаменский. – Москва : АСВ, 2000. – 128 с. : ил. – ISBN 5-93093-050-3. – Текст : непосредственный.

GRIGOREV Yury Semyonovich, candidate of technical sciences, professor of the chair of architecture; FATEEV Valery Valerevich, senior teacher of the chair of architecture

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE OPERATION OF HORIZONTALLY LOADED MODELS OF PILE-GROUND DIAPHRAGMS IN AN ARRAY OF CLAY SOIL

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Key words: clay soil, a model of a soil massif, a model of a pile-soil diaphragm, bearing capacity of piles, coefficient of the cluster effect.

The article presents the results of experimental studies of the operation of horizontally loaded models of pile-ground diaphragms in an array of clay soil. The dependence of the bearing capacity of horizontally loaded pile-ground diaphragms, the specific bearing capacity of piles in the diaphragms, as well as the value of the coefficient of the cluster effect on the number of piles in the diaphragm is revealed.

REFERENCES

1. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Modelirovanie raboty svaynykh fundamentov v laboratornykh usloviyakh [Modeling the work of pile foundations in the laboratory]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2021. № 2 (58). P. 57–61.

2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Eksperimentalnaya ustanovka dlya ispytaniy modeley gorizontarno nagruzhennykh svaynykh fundamentov [Experimental installation for testing models of horizontally loaded pile foundations] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021. № 3 (59). P. 56–61.

3. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. O metodike ispytaniy modeley prizmaticheskikh svay v massive glinistogo grunta vertikalnymi nagruzkami v laboratornykh usloviyakh [On the methodology of testing models of prismatic piles in an array of clay soil by vertical loads in laboratory conditions] // Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. – № 4 (59). – P. 36–41.

4. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Modelirovanie raboty svaynykh fundamentov v laboratornykh i v polevykh usloviyakh / [Modeling the operation of pile foundations in the laboratory and in the field] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod : NNGASU, 2023. – 150 p. – ISBN 978-5-528-00539-3.

5. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Kompyuternaya model raboty visyachey prizmaticheskoy svai v massive glinistogo grunta [A computer model of the operation of a hanging prismatic pile in an array of clay soil] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky



Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 1 (61). – P. 36–41.

6. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya kompyuternoy modeli zabivnoy prizmaticheskoy svai v mnogosloynnom gruntovom osnovanii [Verification of a computer model of a driven prismatic pile in a multilayer soil base] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 2 (62). – P. 79–84.

7. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Issledovaniya raboty gorizontally nagruzhennykh fundamentov s lineyno raspolozhennymi prizmaticheskimi svayami v programmnom komplekse «MIDAS» [Studies of the operation of horizontally loaded foundations with linearly arranged prismatic piles in the “MIDAS” software package] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 3 (63). – P. 52–57.

8. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Issledovaniya raboty lentochnykh svaynykh fundamentov na gorizontallye nagruzki, deystvuyushchie vdol ryadov svay, v programmnom komplekse «MIDAS GTS NX» [Studies of the operation of strip pile foundations on horizontal loads acting along rows of piles in the software package “MIDAS GTS NX”] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 4 (64). – P. 34–43.

9. Fateev V. V. Matematicheskoe modelirovanie raboty lentochnykh svaynykh fundamentov na gorizontallye nagruzki, deystvuyushchie poperyok ryadov svay, v programmnom komplekse «MIDAS GTS NX» [Mathematical modeling of the operation of strip pile foundations on horizontal loads acting across rows of piles in the software package “MIDAS GTS NX”] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2022. – № 4 (64). – P. 44–49.

10. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Issledovaniya effektivnosti raboty gorizontally nagruzhennykh svaynykh fundamentov podpornykh sooruzheniy [Research on the effectiveness of horizontally loaded pile foundations of retaining structures] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. – № 1 (65). – P. 48–51.

11. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Issledovaniya vzaimnogo vliyaniya svay v gorizontally nagruzhennykh svaynykh fundamentakh [Studies of the mutual influence of piles in horizontally loaded pile foundations] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod, 2023. – № 2 (66). – P. 50–60.

12. Trudy k VIII Mezhdunarodnomu kongressu po mekhanike gruntov i fundamentostroeniyu [Proceedings of the VIII International Congress on Soil Mechanics and Foundation Engineering], 6-12 avgusta 1973 g. / pod red. N. A. Tsytovicha ; Nauch.-issled. in-t osnovaniy i podzemnykh sooruzheniy Gosstroya SSSR. Nats. Assots. SSSR po mekhanike gruntov i fundamentostroeniyu. - Moscow: Sroyizdat, 1973. – 423 p. : il.

13. Dubrovshchenko G. A. Modelirovanie raboty buronabivnykh svay s ispolzovaniem affinnogo i priblizhyonnogo podobiya [Modeling the operation of bored piles using affine and approximate similarity] / Issledovaniya po osnovaniyam, fundamentam i mekhanike gruntov [Research on foundations, foundations and soil mechanics]. – Kiev : Budivilnik, 1969. – P. 95–100.

14. Znamensky V. V. Inzhenerny metod raschyota gorizontally nagruzhennykh grupp svay [Engineering method for calculating horizontally loaded groups of piles] : uchebnoe posobie dlya vuzov. – Moscow : ASV, 2000. – 128 p., il. – ISBN 5-93093-050-3.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2024

Получено: 22.03.2024 г.