

УДК 624.154.1

В. В. ФАТЕЕВ, инженер, ст. преподаватель кафедры архитектуры

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ
СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ,
ДЕЙСТВУЮЩИЕ ПОПЕРЕК РЯДОВ СВАЙ, В ПРОГРАММНОМ
КОМПЛЕКСЕ “MIDAS GTS NX”**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»
Россия, 603950, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65. Тел.: (831) 430-19-57;
эл. почта: valeriy-fateev@rambler.ru

Ключевые слова: математические модели, грунтовый массив, ряды призматических свай, горизонтальные нагрузки, предельная нагрузка на сваю.

Приводятся результаты исследований горизонтально нагруженных ленточных свайных фундаментов с линейно расположенными призматическими сваями в программном комплексе “MIDAS GTS NX”.

Результаты исследований работы ленточных свайных фундаментов на горизонтальные нагрузки, действующие поперек рядов свай, представленные в настоящей статье, являются частью целого комплекса исследований по математическому моделированию работы ленточных свайных фундаментов, использующихся в подпорных сооружениях, воспринимающих горизонтальные нагрузки.

Использовавшаяся в исследованиях модель системы «свайный фундамент – грунтовое основание», неоднократно апробированная в соответствии с методикой, подробно описанной в нескольких работах, позволила исследовать работу системы «свайный фундамент – грунтовое основание» в условиях максимально приближенных к натурным [1–3].

В выполненных исследованиях использовались математические модели свайных фундаментов с высоким ростверком, с разным количеством свай в ряду, длина свай 6 м, расположенных с шагом 0,9 м (табл. 1, рис. 1, 2 цв. вклейки).

Таблица 1

Характеристика компьютерных моделей фундаментов

Номер расчетной модели	Количество свай в ряду	Шаг свай	Горизонтальная нагрузка	Тип ростверка
1	Одиночная свая со свободной головой			
2	2	3d	Вдоль ряда / поперек ряда (рис. 3–7 цв. вклейки)	Высокий
3	3			
4	4			
5	6			
6	8			
7	10			
8	12			

В результате выполненных исследований было установлено:

1. Качественная картина работы горизонтально нагруженных моделей свайных фундаментов в полной мере соответствует работе свайных фундаментов в натурных испытаниях горизонтальными нагрузками [2].

2. С увеличением количества свай в ряду с 2 до 12 предельное значение горизонтальной нагрузки, допускаемой на свайный фундамент H , увеличивается (рис. 9, 11 цв. вклейки), однако, при этом среднее значение предельной горизонтальной нагрузки $H_{\text{ср}}$, приходящейся на одну сваю, уменьшается (табл. 2).

3. Величина коэффициента кустового эффекта $K_{\text{кз}}$, определяемого по формуле (1), учитывающего взаимное влияние свай при жесткой заделке голов свай в ростверке, в свайных ленточных фундаментах с однорядным расположением свай меньше единицы. Вместе с тем величина $K_{\text{кз}}$, не являясь величиной постоянной, по мере увеличения количества свай в фундаменте, постепенно снижается, асимптотически приближаясь к 0,7 (табл. 2, рис. 10 цв. вклейки).

$$K_{\text{кз}} = H/n \cdot H_0, \quad (1)$$

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

Таблица 2

Результаты исследований работы ленточных свайных фундаментов на горизонтальные, действующие поперек рядов свай, в программном комплексе “MIDAS”

Расчетная модель	Количество свай в ряду n	Горизонтальная нагрузка H , кН	Средняя величина нагрузки на одну сваю $H_{\text{ср}}$, кН	Коэффициент кустового эффекта $K_{\text{кз}}$, д. ед.
1	1	52,24	52,24	-
2	2	102,10	51,05	0,977
3	3	144,12	48,04	0,920
4	4	182,94	45,74	0,876
5	6	259,82	43,30	0,829
6	8	333,55	41,69	0,798
7	10	399,52	39,95	0,765
8	12	468,71	39,06	0,748

4. Среднее значение горизонтальной нагрузки, приходящейся на одну сваю, при увеличении количества свай в поперечно нагруженных однорядных фундаментах с 2 до 12 снижается следующим образом (табл. 2, рис. 8 цв. вклейки):

- 1) в ряду из 2 свай – с 52,24 до 51,05 кН (- 2,3 %);
- 2) в ряду из 3 свай – с 52,24 до 48,04 кН (- 8,0 %);
- 3) в ряду из 4 свай – с 52,24 до 45,74 кН (- 12,4 %);
- 4) в ряду из 6 свай – с 52,24 до 43,30 кН (- 17,1 %);
- 5) в ряду из 8 свай – с 52,24 до 41,69 кН (- 20,2 %);
- 6) в ряду из 10 свай – с 52,24 до 39,95 кН (- 23,5 %);
- 7) в ряду из 12 свай – с 52,24 до 39,06 кН (- 25,2 %).

5. Коэффициенты кустового эффекта при действии нагрузки на фундаменты вдоль и поперек ряда свай существенно различаются по величине, что обусловлено различной степенью взаимного влияния свай. В отличие от однорядных свайных фундаментов с нагрузкой вдоль ряда увеличение количества свай в рассматриваемых случаях приводит к снижению предельной, допускаемой на сваи нагрузки (табл. 3, рис. 1–4).

К СТАТЬЕ В. В. ФАТЕЕВА «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ПОПЕРЕК РЯДОВ СВАЙ, В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ “MIDAS GTS NX”

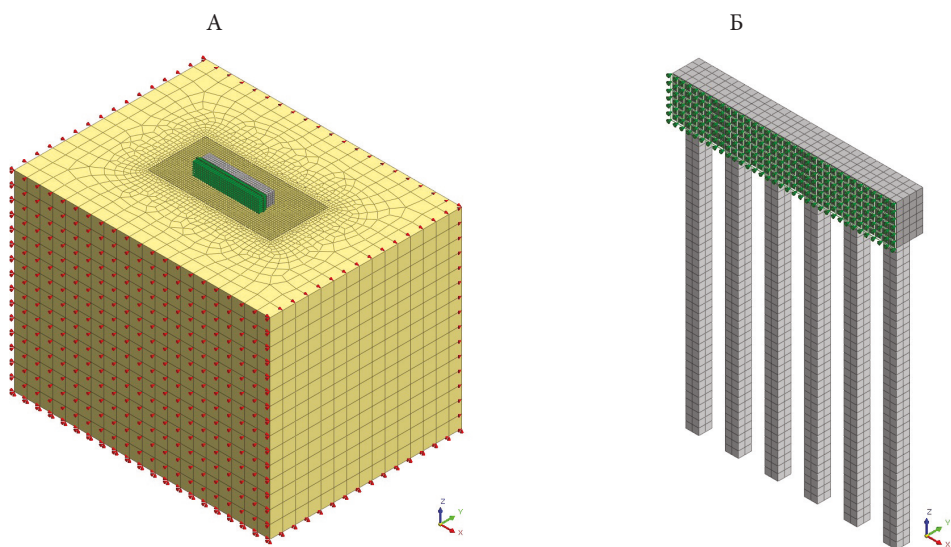


Рис. 1. Компьютерные модели расчетной области грунтового массива (А) и однорядного свайного фундамента из 6 свай (Б)

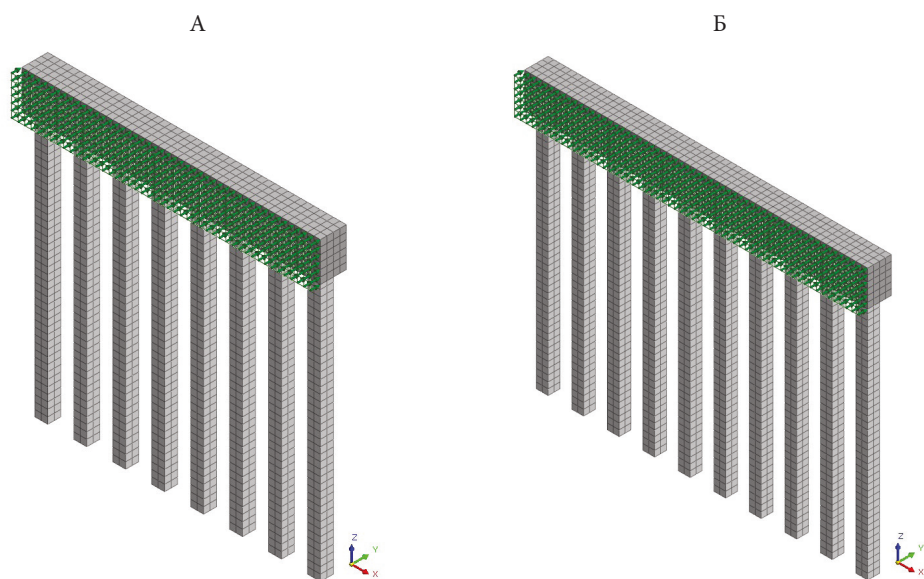
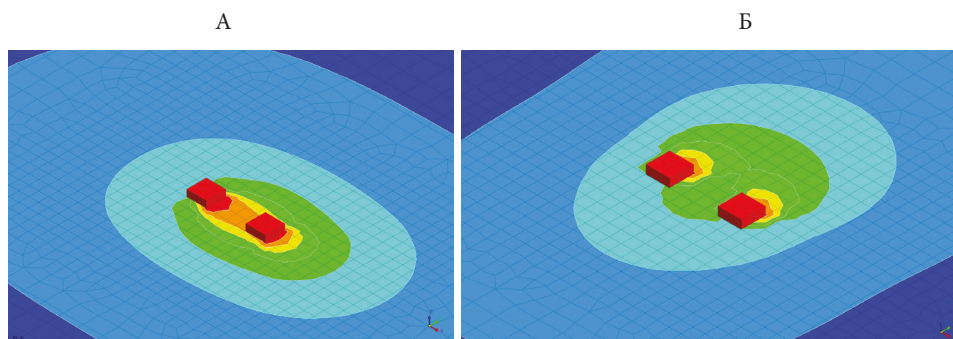
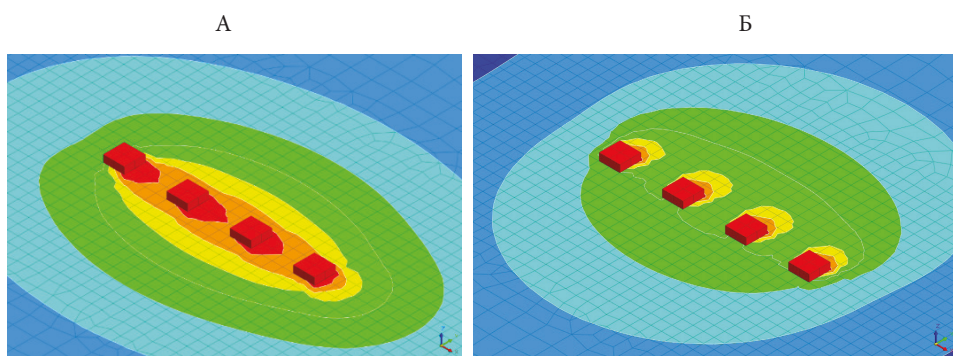


Рис. 2. Компьютерные модели однорядных свайных фундаментов из 8 свай (А) и из 10 свай (Б)



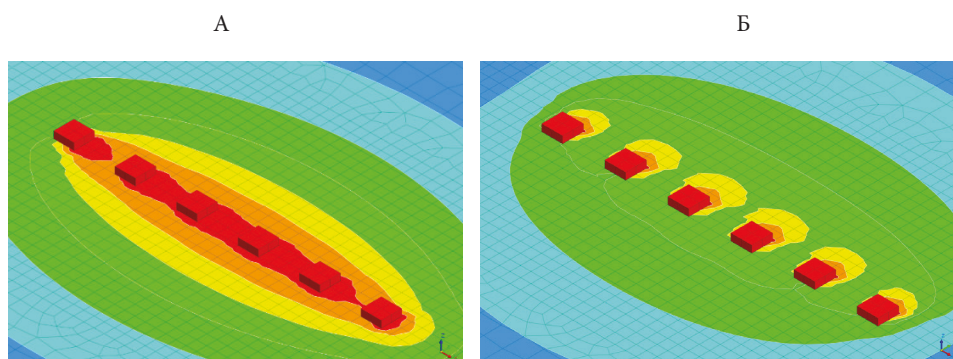
Расчетные модели № 2 (ряд из 2 свай)

Рис. 3. Изополя горизонтальных перемещений фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальных нагрузок H , вызывающих горизонтальные перемещения $\Delta_r = 10$ мм вдоль (А) и поперек (Б) рядов свай



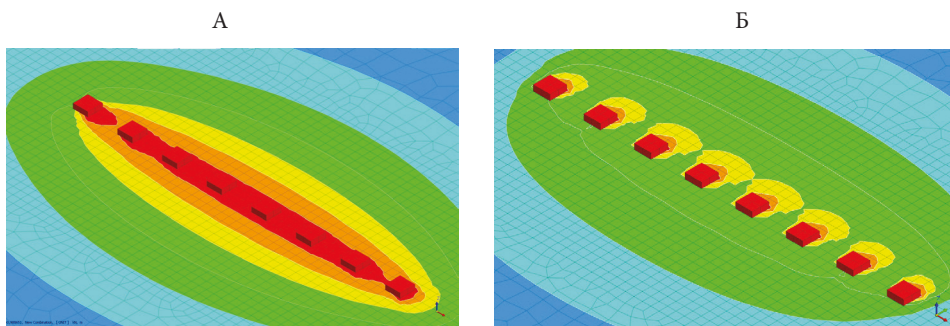
Расчетные модели № 4 (ряд из 4 свай)

Рис. 4. Изополя горизонтальных перемещений фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальных нагрузок H , вызывающих горизонтальные перемещения $\Delta_r = 10$ мм вдоль (А) и поперек (Б) рядов свай



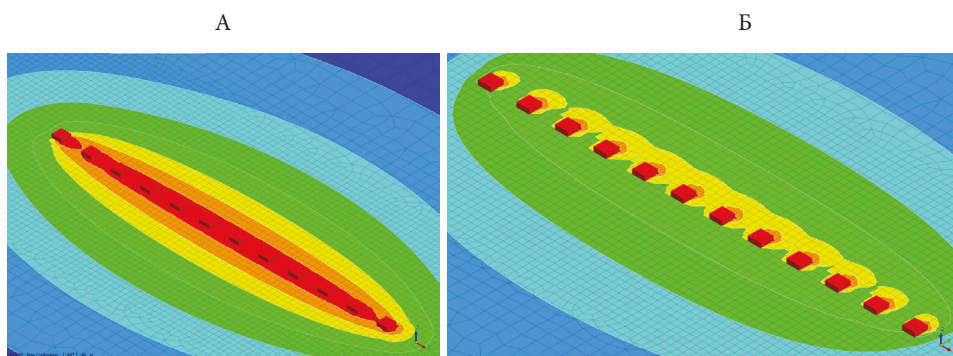
Расчетные модели № 5 (ряд из 6 свай)

Рис. 5. Изополя горизонтальных перемещений фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальных нагрузок H , вызывающих горизонтальные перемещения $\Delta_r = 10$ мм вдоль (А) и поперек (Б) рядов свай



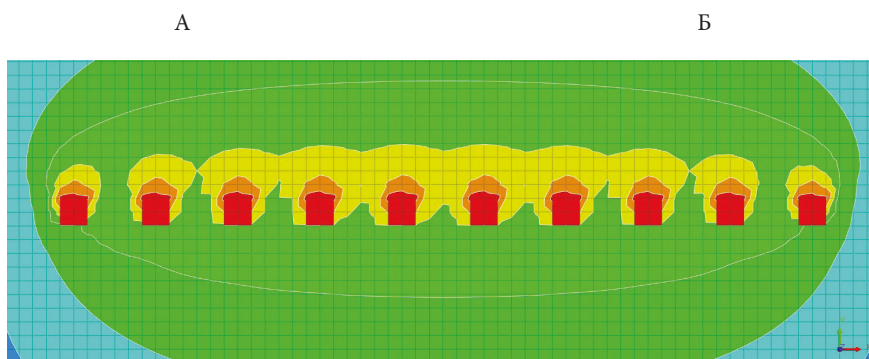
Расчетные модели № 6 (ряд из 8 свай)

Рис. 6. Изополя горизонтальных перемещений фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальных нагрузок H , вызывающих горизонтальные перемещения $\Delta_r = 10$ мм вдоль (А) и поперек (Б) рядов свай



Расчетные модели № 8 (ряд из 12 свай)

Рис. 7. Изополя горизонтальных перемещений фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальных нагрузок H , вызывающих горизонтальные перемещения $\Delta_r = 10$ мм вдоль (А) и поперек (Б) рядов свай



Расчетная модель № 8 (ряд из 12 свай)

Рис. 8. Изополя горизонтальных перемещений фундамента и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальной нагрузки H , вызывающей горизонтальные перемещения $\Delta_r = 10$ мм поперек (Б) ряда свай

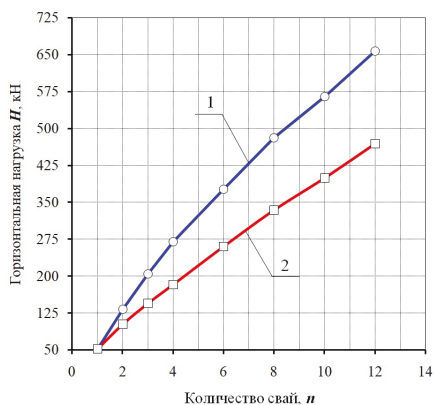


Рис. 9. Графики зависимости предельных горизонтальных нагрузок H , кН от количества свай n : 1 – при действии нагрузки вдоль ряда; 2 – при действии нагрузки в поперечном направлении

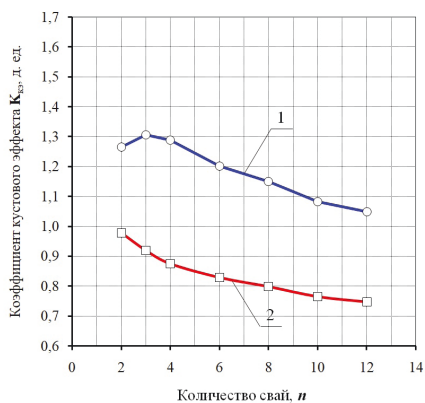


Рис. 10. Графики зависимости коэффициента кустового эффекта K_k от количества свай n : 1 – при действии нагрузки вдоль ряда; 2 – при действии нагрузки в поперечном направлении

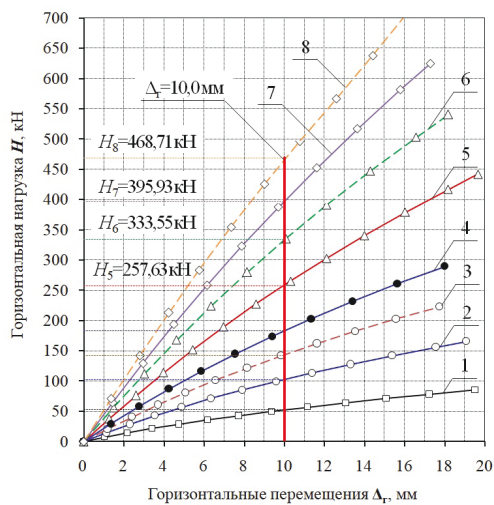


Рис. 11. Зависимость горизонтальных перемещений Δ_r , мм от горизонтальных нагрузок H , кН: 1–8 – расчетные модели № 1–8

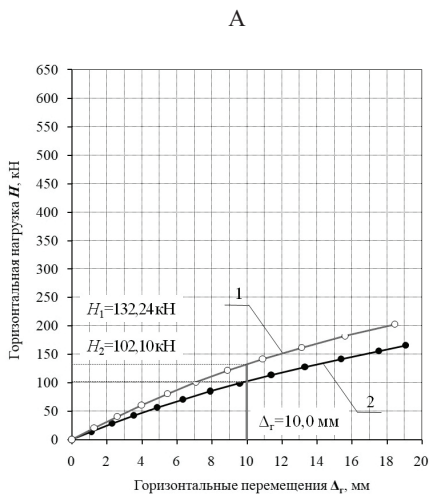
Таблица 3

Коэффициенты кустового эффекта $K_{кз}$

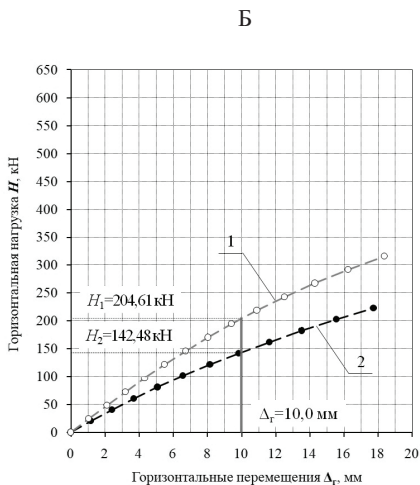
Количество свай в фундаменте, n	Коэффициент кустового эффекта $K_{кз}$, д. ед.	
	Нагрузка вдоль ряда	Нагрузка поперек ряда
2	1,266	0,977
3	1,306	0,920
4	1,288	0,876
6	1,201	0,829
8	1,150	0,798
10	1,082	0,765
12	1,048	0,748

6. Средняя величина предельной поперечной горизонтальной нагрузки, воспринимаемой сваями в фундаментах из линейно расположенных призматических свай, меньше предельной нагрузки, воспринимаемой одиночной свай со свободной головой (рис. 5).

7. Распределение горизонтальной нагрузки, действующей поперек ряда, более равномерное по отдельным сваям по сравнению с распределением нагрузки по сваям при действии нагрузки вдоль рядов свай.

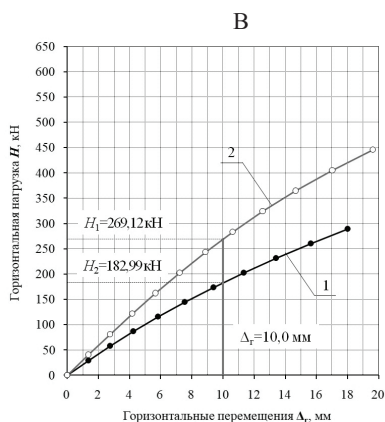


Расчетная модель № 2 (ряд из 2 свай)

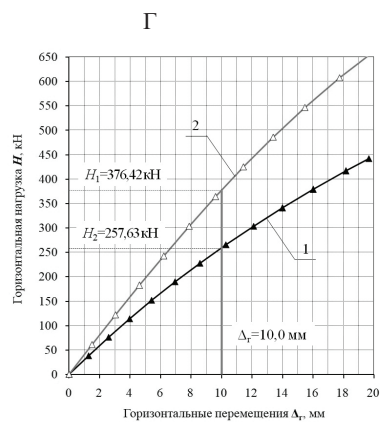


Расчетная модель № 3 (ряд из 3 свай)

Рис. 1. Зависимости горизонтальных перемещений Δ_r , мм от горизонтальных нагрузок H , кН: 1 – вдоль ряда и 2 – поперек ряда; $\Delta_r = 10$ мм – предельная величина горизонтального перемещения свай

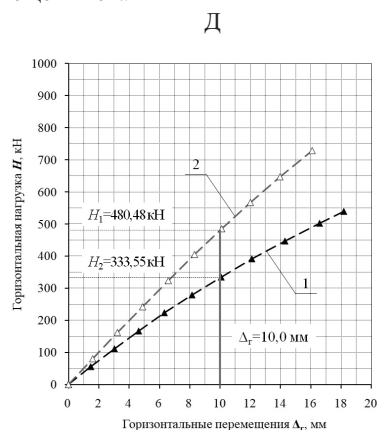


Расчетная модель № 4 (ряд из 4 свай)

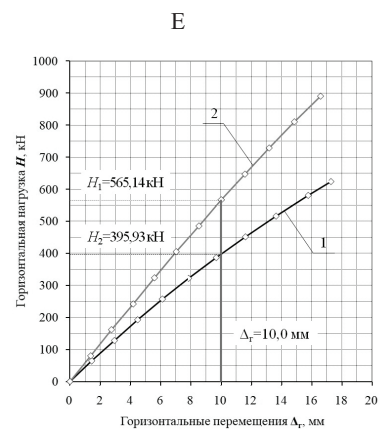


Расчетная модель № 5 (ряд из 6 свай)

Рис. 2. Зависимости горизонтальных перемещений Δ_r , мм от горизонтальных нагрузок H , кН: 1 – вдоль ряда и 2 – поперек ряда; $\Delta_r = 10$ мм – предельная величина горизонтального перемещения свай

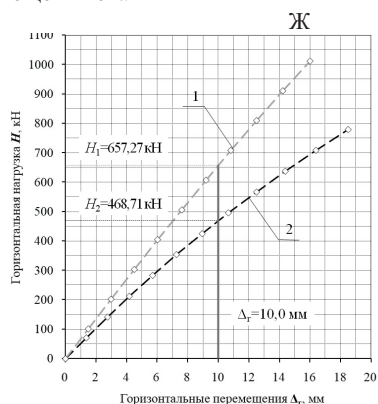


Расчетная модель № 6 (ряд из 8 свай)



Расчетная модель № 7 (ряд из 10 свай)

Рис. 3. Зависимости горизонтальных перемещений Δ_r , мм от горизонтальных нагрузок H , кН: 1 – вдоль ряда и 2 – поперек ряда; $\Delta_r = 10$ мм – предельная величина горизонтального перемещения свай



Расчетная модель № 8 (ряд из 12 свай)

Рис. 4. Зависимости горизонтальных перемещений Δ_r , мм от горизонтальных нагрузок H , кН: 1 – вдоль ряда и 2 – поперек ряда; $\Delta_r = 10$ мм – предельная величина горизонтального перемещения свай

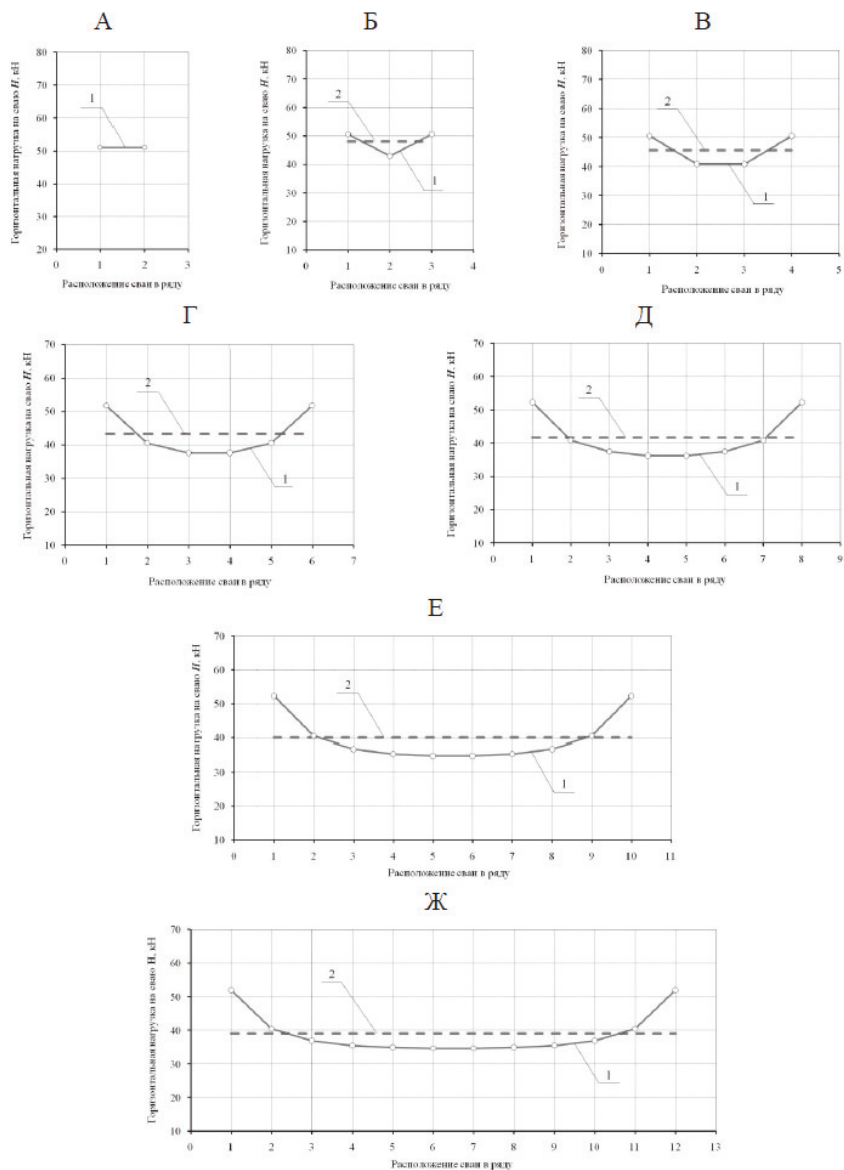


Рис. 5. Фундаменты из: А – 2 свай; Б – 3 свай; В – 4 свай; Г – 6 свай; Д – 8 свай; Е – 10 свай; Ж – 12 свай: 1 – распределение горизонтальной нагрузки, передающейся на фундамент между сваями; 2 – среднее значение горизонтальной нагрузки на одну сваю

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Григорьев, Ю. С. Верификация компьютерной модели забивной призматической сваи в многослойном грунтовом основании / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитек-



турно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2022. – № 2 (62). – С. 79–84.

3. Григорьев, Ю. С. Верификация и валидация геомеханической модели грунтового основания деформирующегося здания / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2018. – № 3 (47). – С. 16–22.

FATEEV Valery Valerevich, engineer, senior teacher of the chair of architecture

**MATHEMATICAL MODELING OF THE FUNCTION OF TAPE PILE
FOUNDATIONS ON HORIZONTAL LOADS ACTING ACROSS ROWS OF
PILES IN THE SOFTWARE PACKAGE “MIDAS GTS NX”**

Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering
65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia. Tel.: +7 (831) 430-19-57;
e-mail: valeriy-fateev@rambler.ru

Key words: mathematical models, soil massif, rows of prismatic piles, horizontal loads, limit load on a pile.

The article presents the results of studies of horizontally loaded pile foundations with linearly arranged prismatic piles in the "MIDAS GTS NX" software package.

REFERENCES

1. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Komputernaya model raboty visyachey prizmaticheskoy svai v massive glinistogo grunta [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.
2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya komputernoy 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.
3. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya i validatsiya geomekhanicheskoy modeli gruntovogo osnovaniya deformiruyuschegosya zdaniya [Verification and validation of a geomechanical model of a soil basis of a deforming building]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod. 2018. № 3. P. 16–22.

© В. В. Фатеев, 2022

Получено: 07.10.2022 г.