



proektirovaniy shumozaschity v proizvodstvennykh zdaniyakh [Noise calculations in the design of noise protection in industrial buildings] / Moscow-Berlin: Direkt-Media. – 2020. – 274 p. – ISBN 978-5-4499-0616-8.

8. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Fyodorova O. O. Vliyaniye kharaktera otrazheniya zvuka ot ograzhdeniy na vybor metoda raschyota vozdushnogo shuma v grazhdanskikh i promyshlennyykh zdaniyakh [Influence of the mode of sound reflection from walls on selection of the method of air noise calculation in civil and industrial buildings] / Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2017. – № 2(42). – P. 16–23.

9. Antonov A. I., Ledenev V. I., Matveeva I. V., Shubin I. L. Raschyoty shuma v grazhdanskikh i promyshlennyykh zdaniyakh pri zerkalno-diffuznom otrazhenii zvuka ot ograzhdeniy [Noise calculations in civil and industrial buildings with mirror-diffuse reflection of sound from fences] / Moscow: Direktmedia Publishing, 2022. – 192 p.

10. Antonov A. I., Ledenev V. I., Nevenchannaya T. O., Tsukernikov I. E., Shubin I. L. Coupling coefficient of flux density and density gradient of reflected sound energy in quasi-diffuse sound fields / Journal of Theoretical and Computational Acoustics. – 2019. – Vol. 27. – № 2. – P. 1850053.

© Т. С. Яровая, А. И. Антонов, В. И. Леденев, И. В. Матвеева, 2022

Получено: 17.09.2022 г.

УДК 624.154.1

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

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВДОЛЬ 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: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Ключевые слова: компьютерные модели, грунтовый массив, ряды призматических свай, горизонтальные нагрузки и перемещения.

Приводятся результаты исследований горизонтально нагруженных свайных фундаментов с линейно расположенными призматическими сваями в программном комплексе “MIDAS GTS NX”. Методику и результаты выполненных исследований целесообразно использовать при проектировании свайных фундаментов.

При проектировании зданий и сооружений на склоновых территориях; промышленных зданий и сооружений с большими горизонтальными нагрузками; гидротехнических, противоползневых и противоселевых сооружений возникает необходимость выбора рациональных типов фундаментов, воспринимающих большие горизонтальные нагрузки и обеспечивающих длительную эксплуатационную надежность сооружений. Одним из вариантов устройства такого типа фундаментов могут быть развитые в направлении действия наибольших горизонталь-



ных нагрузок ленточные одно-, двух- и трехрядные свайные фундаменты.

Исследованиям горизонтально нагруженных свайных групп и рядов свай в случаях, когда горизонтальные нагрузки прикладываются поперек рядов, посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных специалистов. Вместе с тем исследования работы ленточных свайных фундаментов на горизонтальные нагрузки, действующие вдоль рядов свай, как на моделях фундаментов, так и фундаментов в натурных условиях из-за сложности их организации и трудоемкости экспериментов крайне немногочисленны.

Современный программный комплекс “*MIDAS GTS NX*” позволяет выполнить такого рода исследования с использованием неограниченного количества моделей грунтовых оснований, свай и свайных фундаментов, а также различных сочетаний передающихся на фундаменты нагрузок. Однако для того, чтобы получить результаты расчетов, пригодные для проектирования, геотехнические модели системы «свайный фундамент – грунтовое основание», использующиеся в математических расчетах, должны пройти всестороннюю апробацию [1].

Верификация и валидация геомеханической модели системы «свайный фундамент – грунтовое основание», использовавшейся нами в исследованиях, была выполнена в соответствии с методикой, подробно описанной в нескольких работах [2–4], а в качестве критериев верификации и валидации были использованы:

1. Результаты выполненных в соответствии с СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты» расчетов несущей способности забивной железобетонной сваи, работающей (табл. 1): 1) на вдавливающую; 2) на выдергивающую и 3) на горизонтальную нагрузку (СП 50-102-2003).

2. Результаты полевых испытаний грунтов статическим зондированием (табл. 1, рис. 1–4).

3. Результаты физического моделирования и натурных испытаний свай горизонтальными нагрузками, приведенными в работе [2].

В результате выполненных процедур верификации и валидации было установлено, что разработанная компьютерная модель свайных фундаментов с высоким ростверком, с разным количеством свай длиной 6 м, расположенных шагом $3d$ ($d = 30$ см – размер стороны квадратного поперечного сечения свай), позволяет исследовать работу системы «свайный фундамент – грунтовое основание» в условиях максимально приближенных к натурным (табл. 1, рис. 1, 2 цв. вклейки).

Таблица 1

Результаты расчетов несущей способности свай

Метод исследований	Несущая способность сваи / нагрузка, допускаемая на сваю	
	на выдергивающую нагрузку $F_{du} / (F_{du} / \gamma_{c,g})$, кН	на вдавливающую нагрузку $F_d / (F_d / \gamma_{c,g})$, кН
Расчеты с использованием формул СП 24.13330.2021	169,54/121,10	439,62/314,01
Полевые испытания грунтов статическим зондированием	179,42/143,54	386,89/309,51
Компьютерное моделирование	209,25/139,50	452,57/301,71

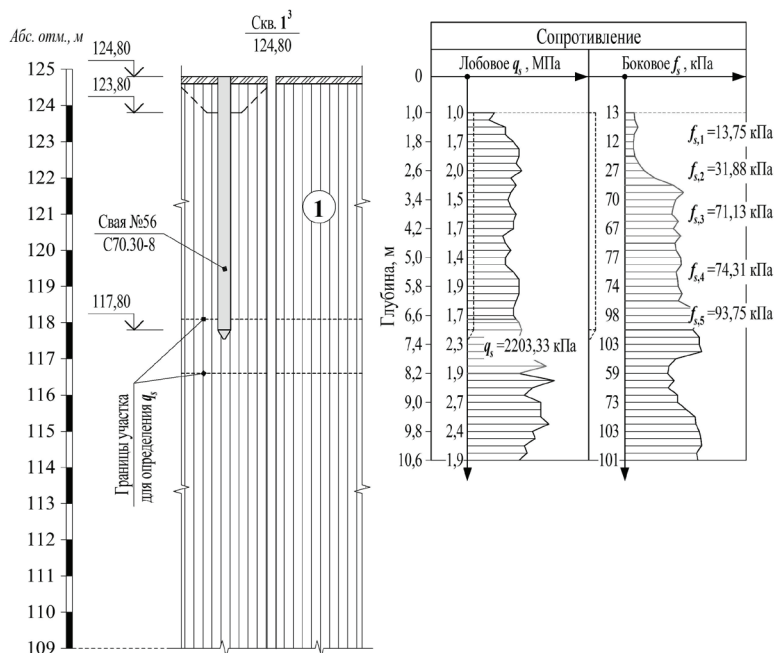


Рис. 1. Расчетные схемы к определению предельного сопротивления забивной призматической сваи по результатам испытания грунтов статическим зондированием: ИГЭ-1– суглинок лессовидный тугопластичный (PrQIV)

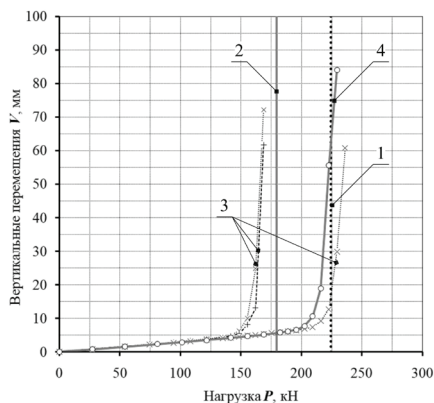


Рис. 2. Графики зависимости вертикальных перемещений V , мм от вертикальных выдергивающих нагрузок P , кН: 1 – предельное сопротивление F_u сваи по результатам испытания грунтов статическим зондированием; 2 – несущая способность сваи на выдергивающую нагрузку F_{du} ; 3 – графики, полученные в процессе верификации модели; 4 – график верифицированной модели сваи и грунтового основания

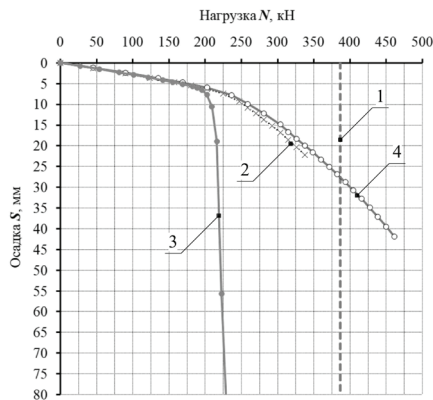


Рис. 3. Графики зависимости осадки S , мм от вертикальных вдавливающих нагрузок N , кН: 1 – предельное сопротивление сваи F_u по результатам испытания грунтов статическим зондированием; 2 – графики, полученные в процессе верификации модели; 3 – несущая способность сваи на выдергивающую нагрузку F_{du} ; 4 – график развития осадки верифицированной модели «свайный фундамент – грунтовое основание»

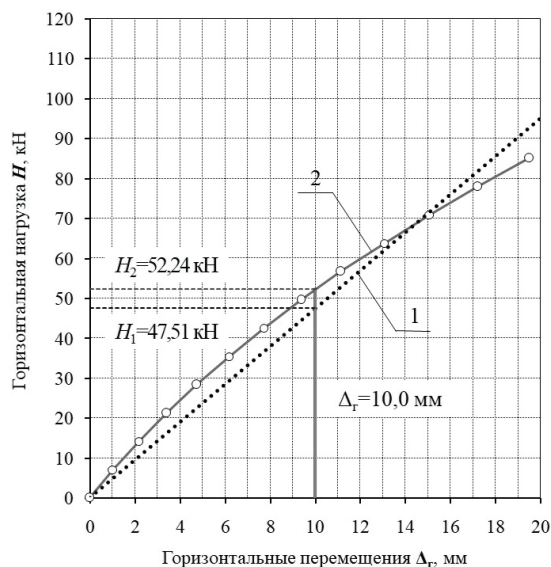


Рис. 4. Графики зависимости горизонтальных перемещений Δr , мм от горизонтальных нагрузок H , кН: 1 – график, полученный по результатам выполнения аналитических расчетов по методике СП 24.13330.2021, СП 50-102-2003; 2 – график, полученный по результатам расчетов верифицированной модели в “MIDAS GTS NX”

Таблица 2

Характеристика компьютерных моделей

Номер расчетной модели	Количество свай в ряду	Расстояние между сваями	Тип ростверка
1	Одиночная свая со свободной головой		
2	2 свай	3d	Высокий
3	3 свай		
4	4 свай		
5	6 свай		
6	8 свай		
7	10 свай		
8	12 свай		

Для описания в разработанной нами модели грунтового основания использовалась упругопластическая модель Мора-Кулона с характеристиками лессового суглинка естественного сложения: удельный вес $\gamma = 18,6$ кН/м³; коэффициент пористости $e = 0,820$; коэффициент Пуассона $\nu = 0,37$; удельное сцепление $c = 20$ кПа; угол внутреннего трения $\varphi = 22^\circ$; модуль деформации $E = 9,5$ МПа, принятыми по материалам инженерно-геологических изысканий, выполненных на строительных площадках Нижнего Новгорода. Длительность математического эксперимента ограничивалась величиной горизонтального перемещения свай в уровне горизонтальной поверхности грунтового массива равной 10 мм, по достижении которого определялась предельная величина горизонтальной нагрузки, допускаемой на фундамент.

**К СТАТЬЕ Ю. С. ГРИГОРЬЕВА, В. В. ФАТЕЕВА
«ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЛЕНТОЧНЫХ СВАЙНЫХ
ФУНДАМЕНТОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ НАГРУЗКИ,
ДЕЙСТВУЮЩИЕ ВДОЛЬ РЯДОВ СВАЙ, В ПРОГРАММНОМ
КОМПЛЕКСЕ “MIDAS GTS NX”**

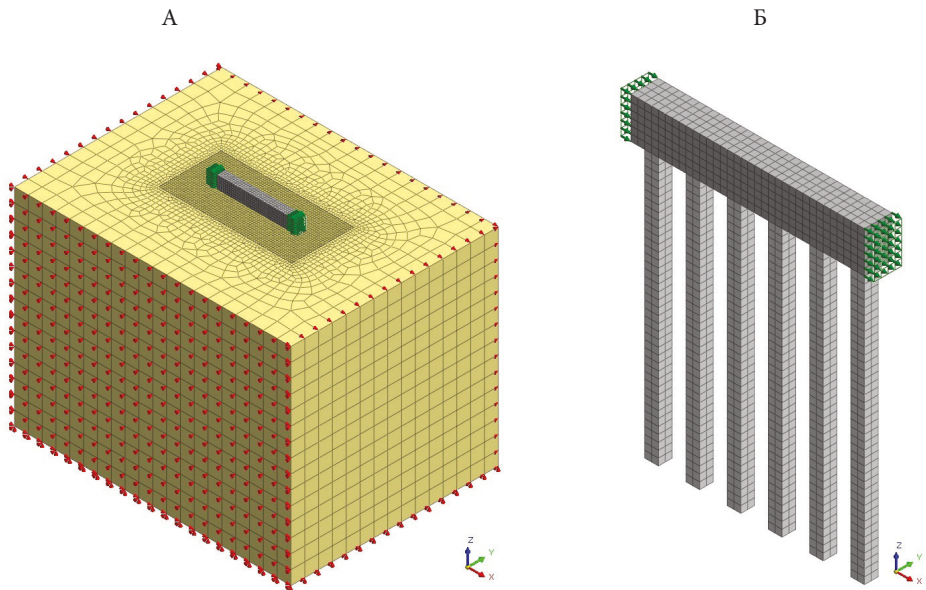


Рис. 1. Компьютерные модели расчетной области грунтового массива (А) и однорядного свайного фундамента из 6 свай (Б)

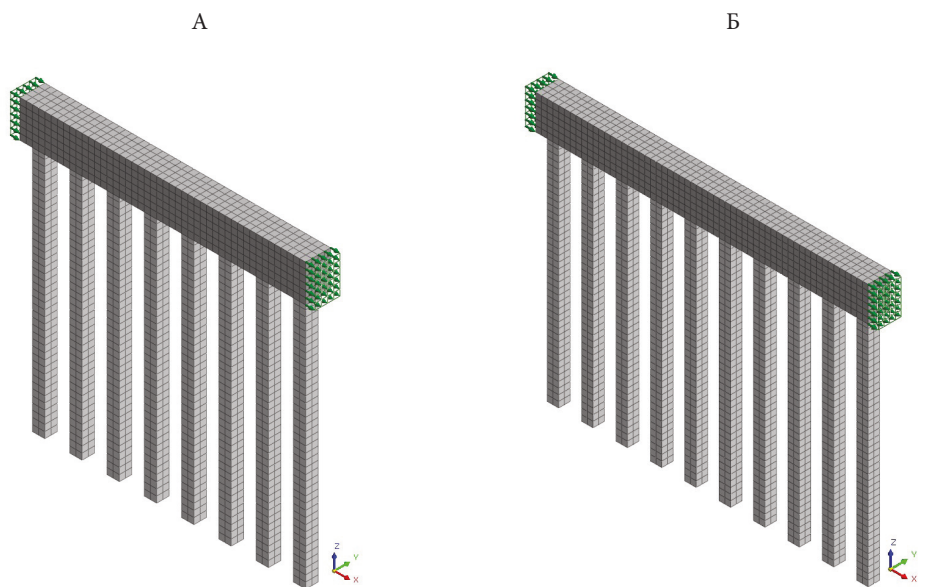


Рис. 2. Компьютерные модели однорядных свайных фундаментов из 8 свай (А) и из 10 свай (Б)

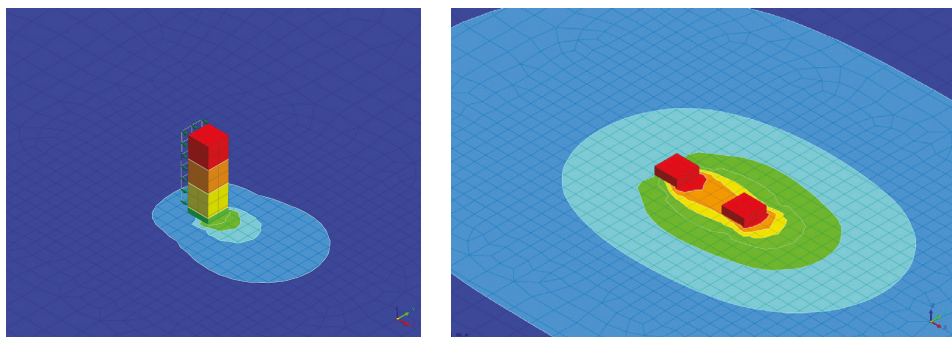


Рис. 3. Расчетные модели № 1 (одиночная свая со свободной головой) и № 2 (ряд из 2 свай). Изополя горизонтальных перемещений (по оси X) фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальной нагрузки H , вызывающей горизонтальное перемещение свай равное $\Delta = 10$ мм

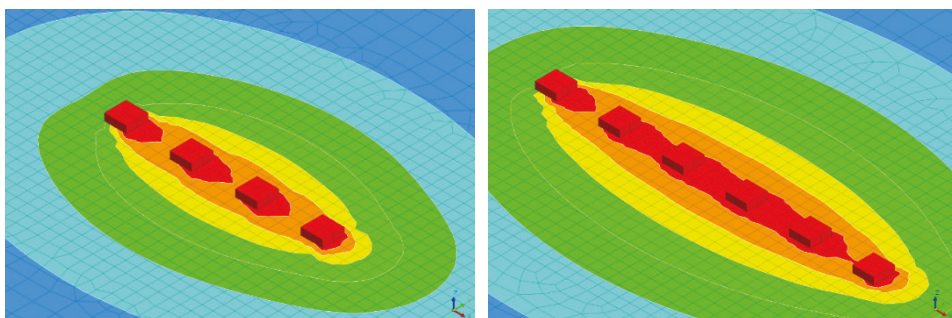


Рис. 4. Расчетные модели № 4 (ряд из 4 свай) и № 5 (ряд из 6 свай). Изополя горизонтальных перемещений (по оси X) фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальной нагрузки H , вызывающей горизонтальное перемещение свай равное $\Delta = 10$ мм

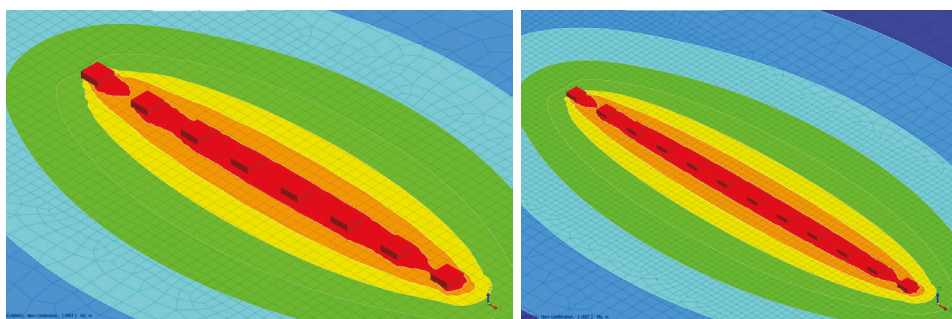


Рис. 5. Расчетные модели № 6 (ряд из 8 свай) и № 8 (ряд из 12 свай). Изополя горизонтальных перемещений (по оси X) фундаментов и околосвайного грунта в уровне поверхности грунтового массива при действии горизонтальной нагрузки H , вызывающей горизонтальное перемещение свай равное $\Delta = 10$ мм

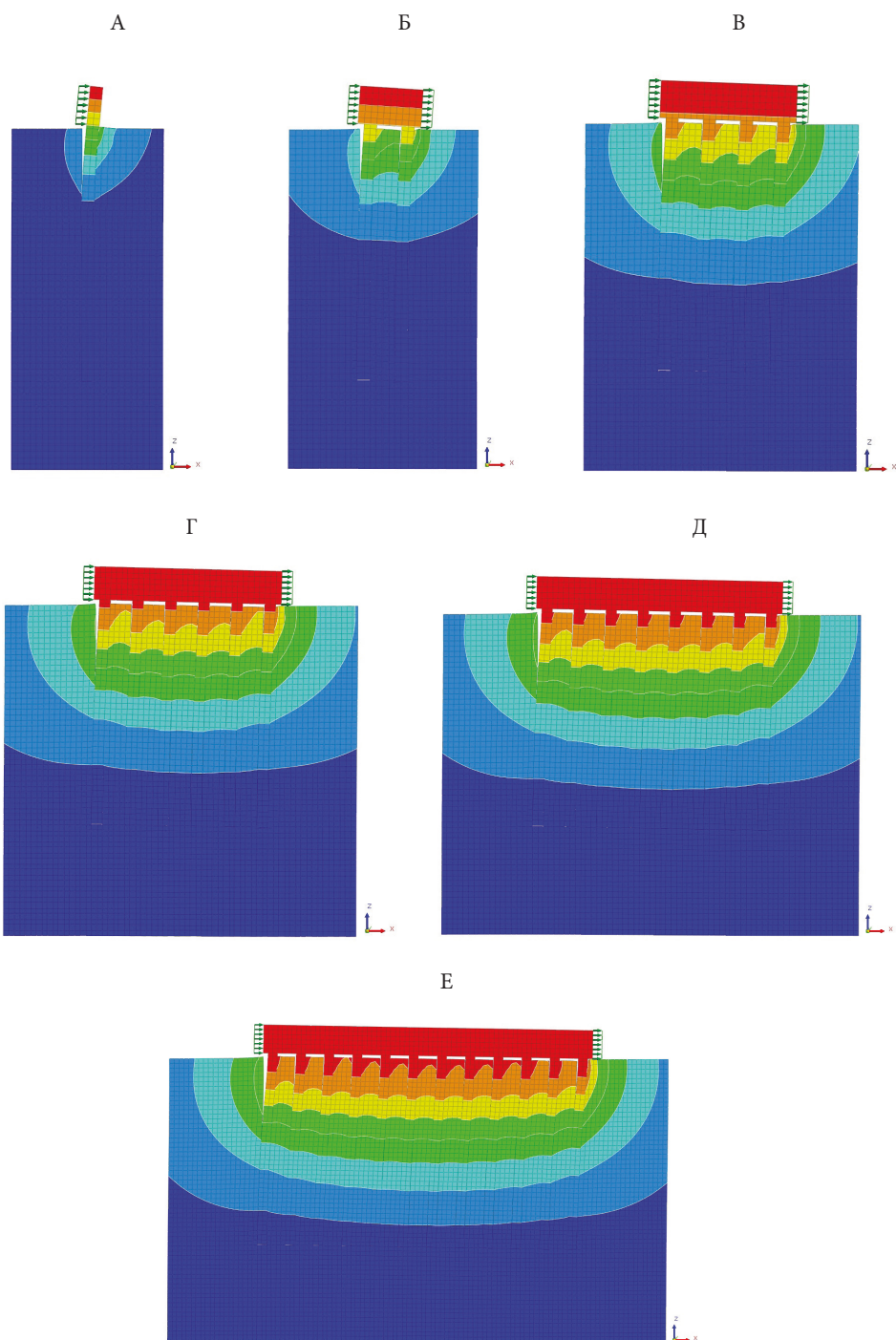


Рис. 6. Изополя горизонтальных перемещений (в вертикальной плоскости вдоль оси X) рядов свай и околосвайного грунта при действии горизонтальной нагрузки H , вызывающей горизонтальное перемещение свай в уровне поверхности грунтового массива равное $\Delta = 10$ мм: А – одиночная свая; Б – ряд из 2 свай; В – ряд из 4 свай; Г – ряд из 6 свай; Д – ряд из 8 свай; Е – ряд из 12 свай

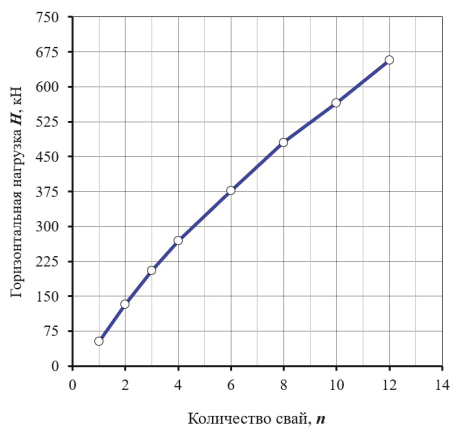


Рис. 7. График зависимости горизонтальных нагрузок H , кН от количества свай n

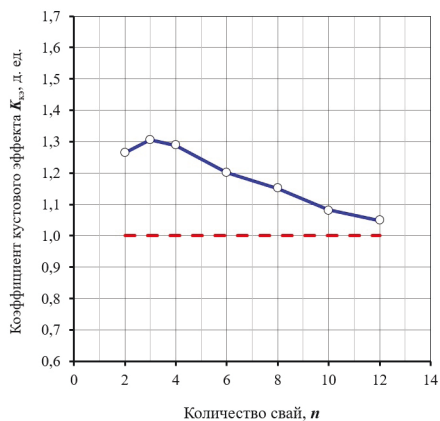


Рис. 8. График зависимости коэффициента кустового эффекта $K_{к3}$ от количества свай n

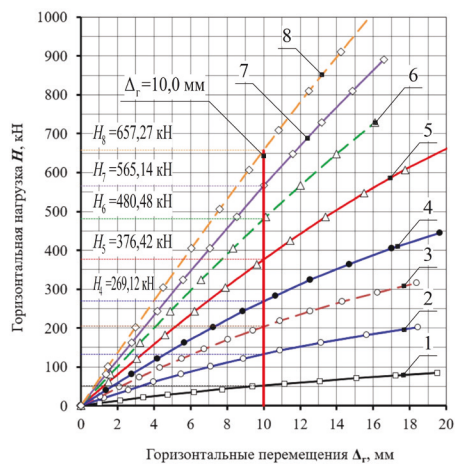


Рис. 9. Зависимость горизонтальных перемещений Δ_p , мм от горизонтальных нагрузок H , кН: 1–8 – расчетные модели № 1–8

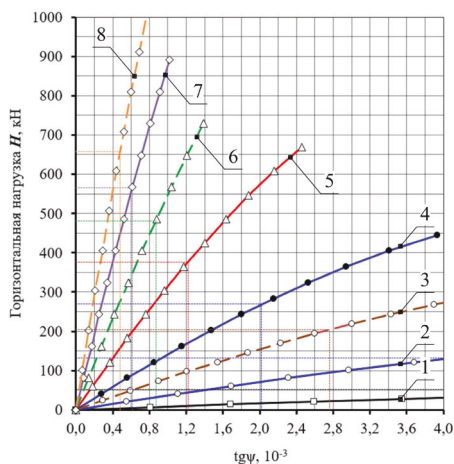


Рис. 10. Зависимость крена $\text{tg}\psi$, 10^{-3} от горизонтальных нагрузок H , кН: 1–8 – расчетные модели № 1–8

В результате выполненных исследований работы однорядных свайных фундаментов было установлено:

1. Качественная картина работы горизонтально нагруженных моделей свайных фундаментов в полной мере соответствует работе свайных фундаментов в натурных испытаниях горизонтальными нагрузками [2]. При этом моделируемые фундаменты испытывают: 1) горизонтальные перемещения, развивающиеся в результате податливости основания и конечной жесткости свай, и 2) крен, возникающий из-за осадки свай, работающих на вдавливающую нагрузку, и из-за вертикальных перемещений свай, работающих на выдергивающую нагрузку (рис. 3–6 цв. вклейки).

2. Естественно, что при увеличении количества свай в ряду с 2 до 12 предельное значение горизонтальной нагрузки, допускаемой на фундамент H , увеличивается (рис. 7 цв. вклейки), однако при этом среднее значение горизонтальной нагрузки $H_{\text{ср}}$, приходящейся на одну сваю в фундаментах, уменьшается (табл. 3).

3. Величина коэффициента кустового эффекта $K_{\text{кз}}$, определяемого по формуле (1) и учитывающего взаимное влияние свай при жесткой заделке голов свай в ростверке, в свайных ленточных фундаментах с однорядным расположением свай, больше единицы. Вместе с тем величина $K_{\text{кз}}$, не являясь величиной постоянной, по мере увеличения количества свай в фундаменте, постепенно снижается, асимптотически приближаясь к единице (табл. 3 и рис. 8 цв. вклейки). Таким образом, увеличение количества свай в однорядных свайных фундаментах не приводит к снижению их несущей способности.

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

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.

4. Среднее значение горизонтальной нагрузки, приходящейся на одну сваю в однорядных фундаментах из 3 и 4 свай, по сравнению с рядом из 2 свай (66,12 кН), увеличивается (табл. 3 и рис. 8 цв. вклейки).

Таблица 3

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

Расчетная модель	Количество свай в ряду n	Горизонтальная нагрузка H , кН	Средняя несущая способность сваи в ряду $H_{\text{ср}}$, кН	Коэффициент кустового эффекта $K_{\text{кз}}$, д. ед.
1	1	52,24	52,24	–
2	2	132,24	66,12	1,266
3	3	204,61	68,20	1,306
4	4	269,12	67,28	1,288
5	6	376,42	62,74	1,201
6	8	480,48	60,06	1,150
7	10	565,14	56,51	1,082
8	12	657,27	54,77	1,048



- 1) в ряду из 3 свай – с 66,12 до 68,20 кН (+ 3,2 %);
- 2) в ряду из 4 свай – с 66,12 до 67,28 кН (+ 1,8 %).

При увеличении количества свай в ряду с 6 до 12 происходит снижение средней величины горизонтальной нагрузки, приходящейся на одну сваю (табл. 3 и рис. 8 цв. вклейки):

- 1) в ряду из 6 свай – с 66,12 до 62,74 кН (- 5,1 %);
- 2) в ряду из 8 свай – с 66,12 до 60,06 кН (- 9,2 %);
- 3) в ряду из 10 свай – с 66,12 до 56,51 кН (- 14,5 %);
- 4) в ряду из 12 свай – с 66,12 до 54,77 кН (- 17,2 %).

5. Увеличение количества свай в ряду приводит к увеличению жесткости свайно-грунтовой диафрагмы в плоскости действия горизонтальной нагрузки (рис. 9 цв. вклейки), в результате чего устойчивость фундамента увеличивается, а крен фундамента (рис. 10 цв. вклейки) соответственно уменьшается (по сравнению с одиночной свайей со свободной головой $\text{tg}\psi = 7,15 \cdot 10^{-3}$) в:

- 1) 1,7 раза в ряду из 2 свай с $\text{tg}\psi = 4,10 \cdot 10^{-3}$;
- 2) 2,6 раза в ряду из 3 свай с $\text{tg}\psi = 2,76 \cdot 10^{-3}$;
- 3) 3,5 раза в ряду из 4 свай с $\text{tg}\psi = 2,02 \cdot 10^{-3}$;
- 4) 5,9 раза в ряду из 6 свай с $\text{tg}\psi = 1,22 \cdot 10^{-3}$;
- 5) 8,2 раза в ряду из 8 свай с $\text{tg}\psi = 0,87 \cdot 10^{-3}$;
- 6) 11,7 раза в ряду из 10 свай с $\text{tg}\psi = 0,61 \cdot 10^{-3}$;
- 7) 14,9 раза в ряду из 12 свай с $\text{tg}\psi = 0,48 \cdot 10^{-3}$.

6. Горизонтальная нагрузка, передающаяся на ленточный фундамент, распределяется между сваями, объединенными жестким недеформируемым ростверком, неравномерно. Наибольшие нагрузки приходятся на первую (лидирующую) и на последнюю (замыкающую ряд) сваи, горизонтальные же нагрузки, приходящиеся на сваи, расположенные между крайними сваями, не превышают средней величины (рис. 5). При этом первая свая в ряду работает на максимальную вдавливающую нагрузку, а последняя свая работает на максимальную выдергивающую нагрузку.

7. Средняя величина предельной горизонтальной нагрузки, воспринимаемой сваями в фундаментах из линейно расположенных призматических свай, больше предельной нагрузки, воспринимаемой одиночной свайей со свободной головой, что является следствием: 1) жесткой заделки голов свай в ростверки и 2) взаимовлияния свай в ряду при их совместной работе.

8. Разработанная авторами модель системы «свайный фундамент – грунтовое основание», позволяющая исследовать работу горизонтально нагруженных свайных фундаментов в условиях максимально приближенных к натурным, может быть использована при проектировании свайных фундаментов объектов различного назначения.

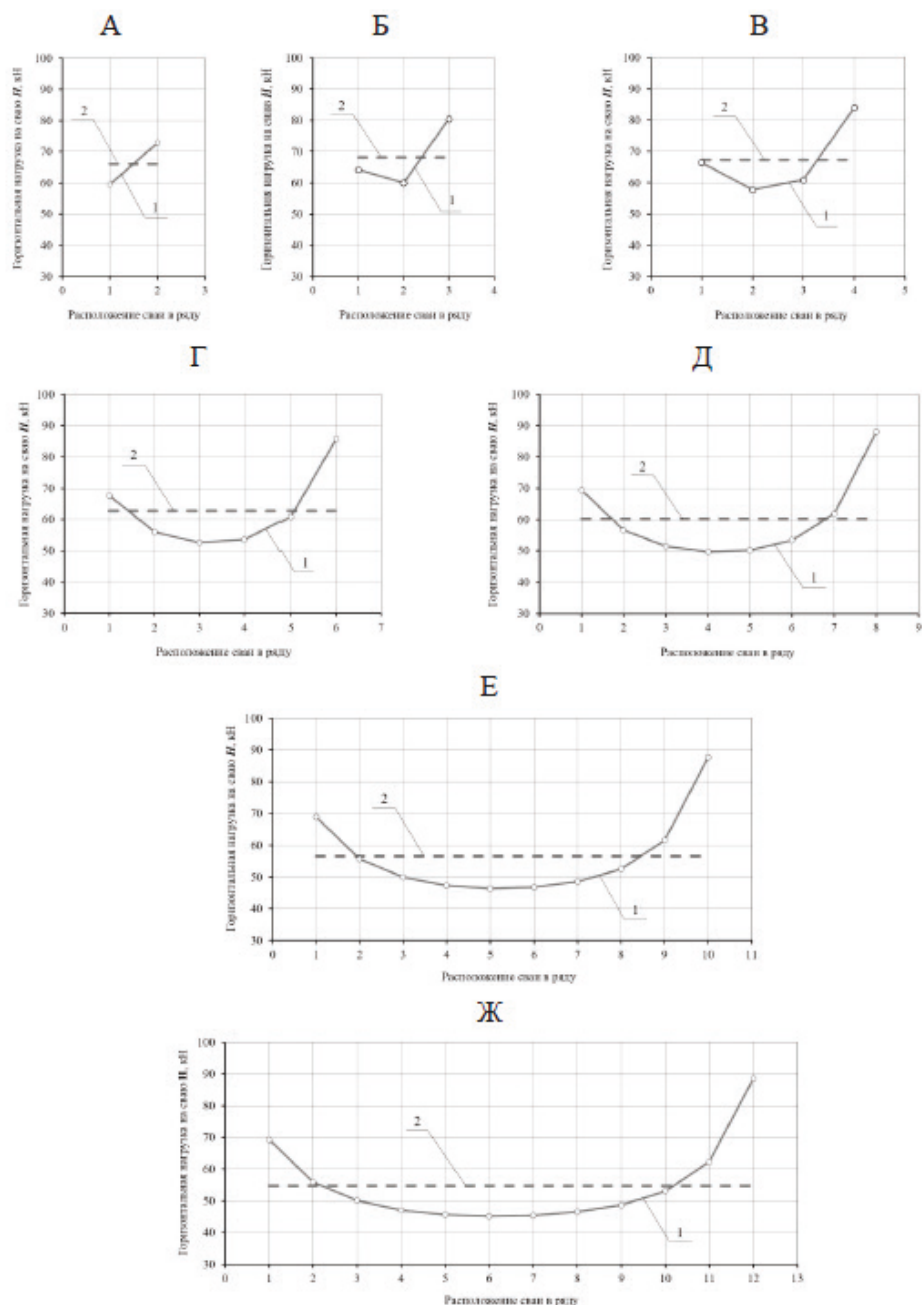


Рис. 5. Фундаменты из: А – 2 свай; Б – 3 свай; В – 4 свай; Г – 6 свай; Д – 8 свай, Е – 10 свай; Ж – 12 свай; 1 – распределение горизонтальной нагрузки, передающейся на фундамент, между сваями; 2 – среднее значение горизонтальной нагрузки на одну сваю



Рис. 6. Схема эрозионного расчленения нагорной части Нижнего Новгорода

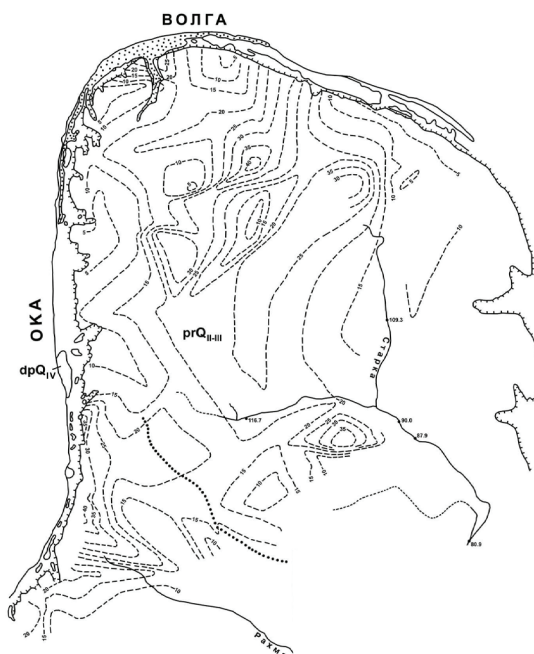


Рис. 7. Схема распространения лессовых пород в нагорной части Нижнего Новгорода [6]



В заключение следует отметить, что причинами предпринятых авторами исследований являются:

1. Проблемы, возникшие при строительстве и эксплуатации ряда объектов на территории Нижнего Новгорода, нагорная часть которого, расположенная в пределах Волжско-Окского междуречья, ограниченная склонами высотой от 74 м на волжском берегу и высотой до 135 м на окском берегу, прорезана многочисленными оврагами как выходящими к рекам Волге и Оке, так и расположенными в отдалении от речных склонов (рис. 6).

2. Лессовые породы проблематичного генезиса четвертичной системы на территории Нижнего Новгорода, залегающие сплошным однообразным покровом мощностью до 15-30 м и более, покрывающие правобережья рек Оки и Волги, подстилающиеся коренными пестроцветными отложениями татарского яруса пермской системы (рис. 7). Характеристики физико-механических свойств лессовых пород в природном состоянии: удельный вес грунта $\gamma = 16,5\text{--}18,2 \text{ кН/м}^3$, влажность $W = 7,5\text{--}20 \%$, коэффициент пористости $e = 0,56\text{--}1,1$ (преимущественно $e = 0,85\text{--}0,95$), угол внутреннего трения $\varphi = 18\text{--}29^\circ$, удельное сцепление $c = 10\text{--}50 \text{ кПа}$, модуль деформации $E = 3\text{--}10 \text{ МПа}$ [6].

3. Недостаточная изученность работы ленточных свайных фундаментов на горизонтальные нагрузки, действующие вдоль рядов свай.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Верификационный отчет по программному комплексу MIDAS GTS. Том 1. Общие сведения. Матрица верификации. – Москва : Подземпроект, 2012. – 88 с. – Текст : непосредственный.

2. Григорьев, Ю. С. Компьютерная модель работы свисающей призматической сваи в массиве глинистого грунта / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2022. – № 1 (61). – С. 36–41.

3. Григорьев, Ю. С. Верификация компьютерной модели забивной призматической сваи в многослойном грунтовом основании / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2022. – № 2 (62). – С. 79–84.

4. Григорьев, Ю. С. Верификация и валидация геомеханической модели грунтового основания деформирующегося здания / Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород, 2018. – № 3 (47). – С. 16–22.

5. Григорьев, Ю. С. О теоретических основах прогнозирования процессов подтопления территорий градостроительства в сложных инженерно-геологических условиях / Ю. С. Григорьев, И. Н. Гришина ; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2002. – 124 с.

6. Финаев, И. В. Инженерно-геологическая оценка лессовых пород / И. В. Финаев, Г. И. Домрачев, Э. Г. Рудченко. – Москва : Недра, 1985. – 144 с.

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

INVESTIGATIONS OF THE FUNCTION OF TAPE PILE FOUNDATIONS ON HORIZONTAL LOADS ACTING ALONG 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: yus-gri@rambler.ru, valeriy-fateev@rambler.ru

Key words: computer models, ground base, rows of prismatic piles, horizontal loads and displacements.

The article presents the results of studies of horizontally loaded pile foundations with linearly arranged prismatic piles in the "MIDAS GTS NX" software package. It is advisable to use the methodology and results of the performed studies in the design of pile foundations.

REFERENCES

1. Verifikatsionny otchyot po programmnomu kompleksu MIDAS GTS. Tom 1. Obschie svedeniya. Matritsa verifikatsii [MIDAS GTS Software Complex Verification Report. Volume 1. General information. Verification matrix]. Moscow : Podzemproekt, 2012. 88 p.
2. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Computernaya 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.
3. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya computernoy 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.
4. Grigorev Yu. S., Fateev V. V. Verifikatsiya i validatsiya geomekhanicheskoy modeli gruntovogo osnovaniya deformiruyushegosya 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.
5. Grigorev Yu. S., Grishina I. N. O teoreticheskikh osnovakh prognozirovaniya protsessov podtopleniya territoriy gradostroitelstva v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh [On the theoretical foundations of forecasting the processes of flooding of urban planning territories in complex engineering and geological conditions] / Nizhegor. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. – Nizhny Novgorod : NNGASU, 2002. – 124 p.
6. Finaev I. V., Domrachev G. I., Rudchenko E. G. Inzhenerno-geologicheskaya otsenka lessovykh porod [Engineering-geological assessment of loess rocks] / Moscow : Nedra, 1985. – 144 p.

© Ю. С. Григорьев, В. В. Фатеев, 2022

Получено: 01.10.2022 г.