

УДК 624.131.7

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-299-304

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ НА ЭТАПЕ ПОГРУЖЕНИЯ ВДАВЛИВАНИЕМ

В. С. Глухов¹, Ю. С. Вишнякова²

¹Пензенский государственный университет архитектуры и строительства,
г. Пенза, Россия

²ООО «Мостехстрой», г. Москва, Россия

Аннотация. В настоящее время специалистами в области геотехники накоплен значительный объем научно-практических данных о взаимодействии разнообразных грунтовых оснований с различными типами свайных фундаментов и способами погружения последних. При устройстве свай методом вдавливания характерно недопогружение свай до проектной отметки, так как необходимое контролируемое усилие достигается ранее. По результатам проведенных испытаний статической вдавливающей нагрузкой описан метод расчета контролируемого усилия вдавливания для свай, погружаемых в водонасыщенные глинистые грунты на площадке строительства жилого дома в г. Жигулевске.

Ключевые слова: фундаменты зданий, несущая способность свай, статические испытания, сваи вдавливания, водонасыщенные глинистые грунты

STUDY OF THE BEARING CAPACITY OF A PILES AT THE STAGE OF SUBMERSIBILITY BY INDENTATION

V. S. Glukhov¹, I. S. Vishniakova²

¹Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

²LLC «Mostechstroy», Moscow, Russia

Annotation. Currently, geotechnical specialists have accumulated vast experience of scientific and practical data on the interaction of various soil foundations with various types of pile foundations and methods of their submersibility. When installing piles using the pressing method, it is typical for the piles to be driven below the design level, since the required controlled force is achieved earlier. Based on the results of static press-in load tests, a method for calculating the controlled press-in force for piles driven into water-saturated clay soils at a residential construction site in Zhigulevsk is described.

Keywords: building foundations, bearing capacity of piles, static tests, pressing piles, water-saturated clay soils

Введение

В современном фундаментостроении при производстве работ в городской застройке и сложных инженерно-геологических условиях самым рациональным вариантом являются свайные фундаменты. По данным ряда исследований, несущая способность погруженных свай оказывается в 1,3–1,5 раза выше результатов классических расчетов [1]. Применение технологии погружения свай вдавливанием актуально для стесненной городской застройки, а также оптимально по уровню шума и уменьшению динамического влияния на близлежащие здания.

Технология вдавливания предполагает применение сваевдавливающих установок типа СВУ-220, СВУ-320, ТАЙЗЕР и др. весом 120÷350 тн. От веса таких установок напрямую зависит максимальное усилие вдавливания свай.

Из опыта авторов статьи известно, что при вдавливании свай в глинистые водонасыщенные грунты несущая способность последних существенно увеличивается по мере «отдыха» свай по сравнению с контролируемым усилием вдавливания N_k на завершающем этапе погружения [2–3]. Исследование этого процесса особенно важно, так как при уменьшении необходимого усилия вдавливания увеличивается экономическая эффективность (уменьшение характеристик применяемых сваевдавливающих установок, уменьшение длины свай и т. д.).

Основная часть

В рамках анализа вышеописанного процесса при устройстве свайных фундаментов второго этапа строительства жилого комплекса на объекте в г. Жигулёвск Самарской области авторами настоящей статьи проведены опытные работы по исследованию зависимости несущей способности свай F_d от величины усилия вдавливания (контролируемого усилия) N_k на завершающем этапе погружения свай. Указанные исследования проводились в 2025 г. и включали вдавливание 6 опытных свай. Проектом предусматривалось применение составных свай общей длиной 15,0 м и сечением 350×350 мм. Расчетная нагрузка составила 360 кН, несущая способность по расчету на основании данных статического зондирования 457 кН.

Согласно техническому отчету по результатам инженерно-геологических изысканий (22/01/24-ИГИ арх.№3345 ООО «Градостроительство», Тольятти, 2024) грунтовое основание включает:

- почвенно-растительный слой мощностью 0,6÷1,0 м;
- ИГЭ-1, мягкопластичный суглинок: число пластичности $I_p = 0,14÷0,16$, показатель текучести $I_L = 0,65$, угол внутреннего трения $\varphi_{II} = 12^\circ$, удельное сцепление $C_{II} = 15$ кПа, объемная масса грунта $\gamma_{II} = 18,0$ кН/м³, модуль деформации $E = 6,0$ МПа. Уровень грунтовых вод вскрыт на глубине 1,2÷1,5 м от поверхности. Мощность слоя суглинка составляет порядка 9,0÷10,0 м;
- ИГЭ-2, тугопластичный суглинок с числом пластичности $I_p = 0,10÷0,12$, показателем текучести $I_L = 0,32$, углом внутреннего трения $\varphi_{II} = 16^\circ$, удельное сцепление $C_{II} = 20$ кПа, объемная масса грунта $\gamma_{II} = 17,5$ кН/м³, модуль деформации $E = 10,0$ МПа. Мощность слоя суглинка не менее 15,0 м.

Согласно практике фундаментостроения принято учитывать требования СП 24.13330.2021 [4] для проектирования свайных фундаментов, а требования СП 45.13330.2017 [5] для производства строительно-монтажных работ. Однако в каждом из этих сводов правил есть указания для определения усилия вдавливания свай.

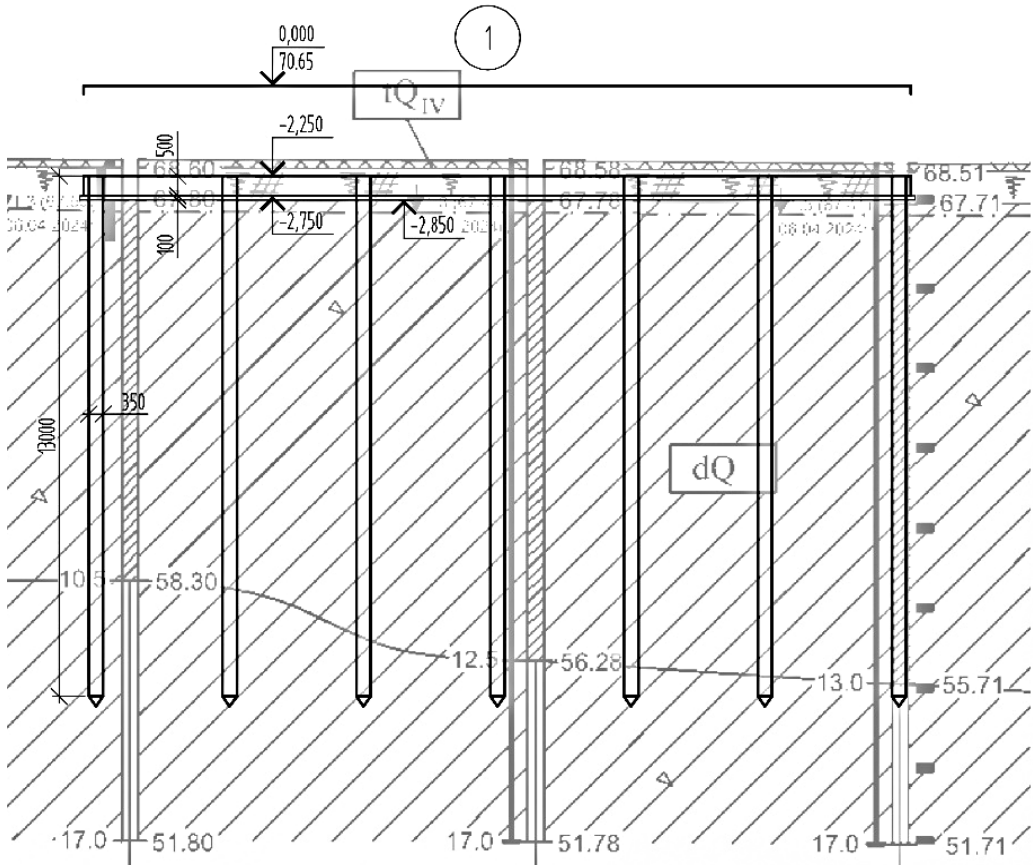


Рис. 1. Инженерно-геологические условия площадки с привязкой фундаментов

Согласно п. 7.6.7 СП 24.13330.2021 [4], минимально необходимое усилие для вдавливания свай N_k определяется по формуле:

$$N_k \geq \gamma_c \cdot F_d, \quad (1)$$

где γ_c — коэффициент условий работы, принимаемый при скорости погружения сваи до 3 м/мин равным 1,2; F_d — несущая способность сваи, кН.

Согласно п. Е3 приложения «Е» СП 45.13330.2017 [5] контролируемое усилие должно соответствовать условию:

$$N_k \geq k_g \cdot \frac{F_d}{m}, \quad (2)$$

где k_g — коэффициент надежности, принимаемый равным 1,2; F_d — несущая способность сваи, определяемая по расчету или статическому зондированию при подготовке проекта, кН; m — коэффициент условий работы, принимаемый при отсутствии опытных данных, равным 0,9, коэффициент рекомендуется уточнять по результатам статических испытаний.

Разница получаемых значений между двумя формулами составляет 11 %, при этом в формулах отсутствует коэффициент, учитывающих характеристики грунтового основания. По опыту авторов статьи такой коэффициент для глинистых грунтов должен учитывать как минимум показатель текучести I_L и число пластичности w_p [3].

Для проведения исследования зависимости усилия вдавливания и несущей способности в процессе погружения шести опытных свай в мае 2025 г. фиксировалось усилие вдавливания на каждый метр погружения свай, результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значение усилия вдавливания N_k , кН по мере погружения свай

Глубина, м	Свая № 15	Свая № 146	Свая № 165	Свая № 296	Свая № 315	Свая № 441
1,0	300	100	100	100	100	100
2,0	250	150	150	100	100	100
3,0	200	150	150	100	150	100
4,0	200	150	150	100	150	100
5,0	150	150	150	100	150	150
6,0	150	200	150	150	150	150
7,0	150	200	200	200	200	225
8,0	200	250	250	250	250	250
9,0	300	300	300	315	300	300
10,0	350	350	350	360	350	350
11,0	380	375	380	375	390	380
12,0	430	400	410	405	415	440
12,7	540	480	490	485	530	580

После отдыха свай были проведены классические статические испытания (рис. 2) согласно требованиям ГОСТ 5686-2020 [6]. В ходе испытаний ступени нагрузки принимались равным 90,0 кН. При этом несущая способность принималась соответствующей ступени нагрузки, предшествующей ступени усилия, обуславливающего срыв свай или осадку $\Delta = S_u \times \xi = 150 \times 0,2 = 30,00$ мм.

В табл. 2 приведены обобщенные данные по вдавливанию свай и результаты определения несущей способности последних в ходе статических испытаний в пятне застройки жилого дома.

Согласно табл. 2, осредненное значение контролируемого усилия на завершающем этапе вдавливания шести свай на глубине 12,7 м для второго этапа строительства объекта составляет $\sum N_k / 6 = 517,5$ кН. Средние значения несущей способности $\sum F_d / 6 = 857,5$ кН и расчетно-допускаемой нагрузки $\sum N_{p.d.} / 6 = 714,6$ кН. Стоит уточнить, что для корректировки проекта были выданы минимальные значения $F_d = 790,0$ кН и $N_{p.d.} = 650,0$ кН, а для исследования, приведенного в данной статье, используется весь массив полученных данных.

При соблюдении требований формул (1)–(2) для $F_d = 875,5$ кН необходимое усилие вдавливания составило:

$$N_k \geq \gamma_c \cdot F_d = 1,2 \cdot 875,5 = 1050,6 \text{ кН}; \quad (3)$$

$$N_k \geq k_g \cdot \frac{F_d}{m} = 1,2 \cdot \frac{875,5}{0,9} = 1167,3 \text{ кН}. \quad (4)$$

Как видим фактическое значение усилия вдавливания в $2,03 \div 2,26$ раза меньше требуемых формулами сводов правил (1)–(2).

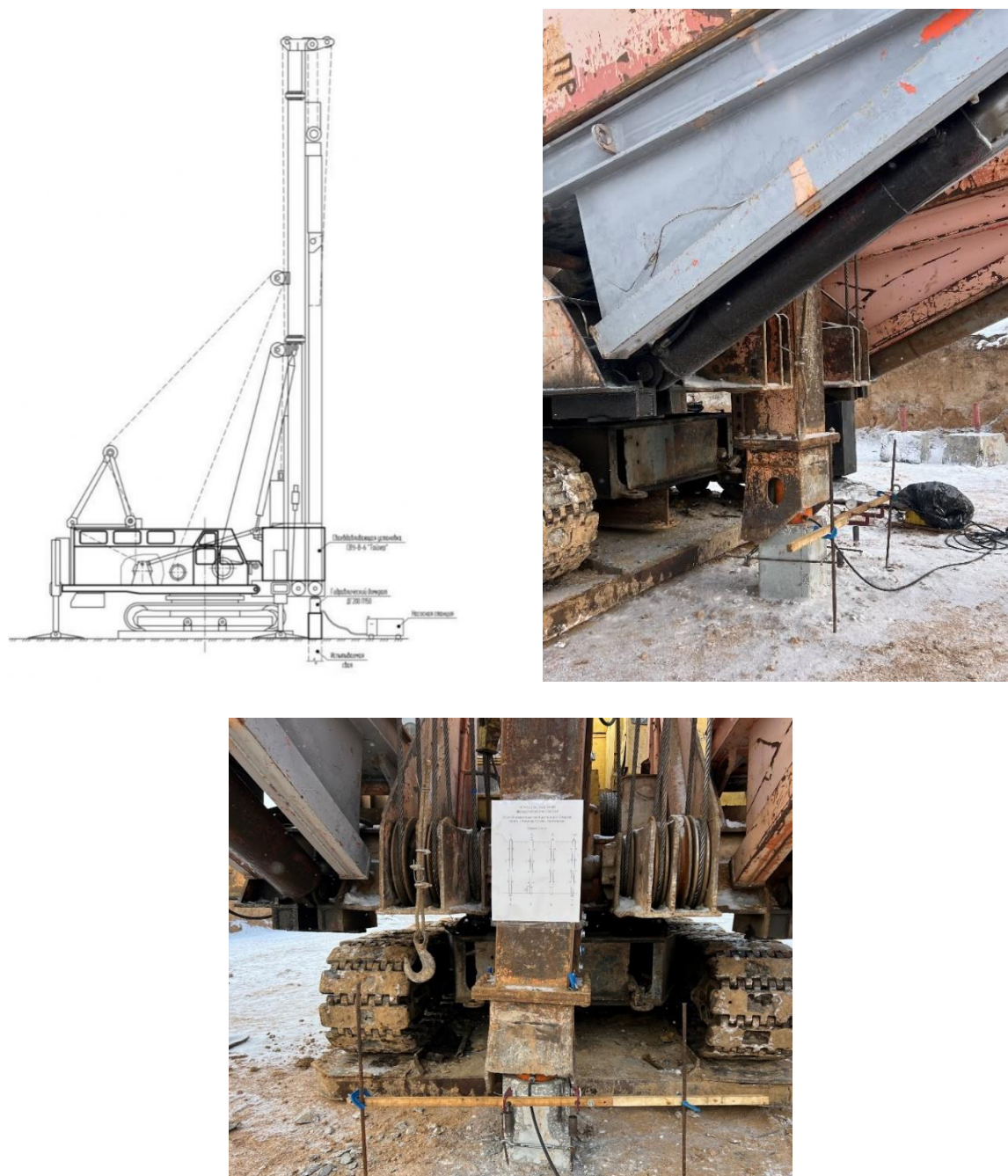


Рис. 2. Схема проведения и фотофиксация испытаний статической вдавливающей нагрузкой

Таблица 2. Результаты исследований по определению несущей способности свай

Номера свай	Глубина погружения, м	N_k , кН	По результатам испытаний		F_d/N_k
			F_d , кН	$N_{p.д.}$, кН	
15	12,7	540,0	870,0	725,0	1,61
165	12,7	490,0	790,0	658,3	1,61
146	12,7	480,0	800,0	666,7	1,67
296	12,7	485,0	900,0	750,0	1,85
315	12,7	530,0	885,0	737,5	1,67
441	12,7	580,0	900,0	750,0	1,55

Заключение

На основании данных статических испытаний составные сваи длиной 15,0 м в проекте были заменены на цельные сваи длиной 12,0 м. Экономический эффект от указанной замены составляет порядка 9800,0 тыс. руб. Наряду с экономическим эффектом использование цельных свай вместо составных позволяет на 40 % ÷ 45 % сократить сроки устройства свайного поля.

По результатам настоящего исследования авторами рекомендуется откорректировать различия в указаниях сводов правил [4–5] и внести изменения в формулу определения контролируемого усилия вдавливания, добавив коэффициент $k_{вд}$, зависящий от характеристик грунтового основания и способа определения несущей способности:

$$N_k \geq \gamma_c \cdot F_d \cdot k_{вд}. \quad (5)$$

В подобных грунтовых условиях авторами предлагается принимать $k_{вд} = 0,8$. Таким образом контролируемое усилие вдавливания на завершающем этапе для принятой в проекте несущей способности по расчету $F_d = 457,0$ кН составляет:

$$N_k \geq 1,2 \cdot 457 \cdot 0,8 \approx 440,0 \text{ кН}, \quad (6)$$

Указанное условие не превышает значений фактического усилия вдавливания для свай длиной 12,0 м, приведенных в табл. 2.

Список источников

1. Пилягин, А. В. Проектирование оснований и фундаментов зданий и сооружений. 3-е изд., переработанное и дополненное / А. В. Пилягин. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 398 с.
2. Глухов, В. С. Рекомендации по определению несущей способности свай при погружении вдавливанием / В. С. Глухов, Ю. С. Вишнякова // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3 (40). – С. 107-112.
3. Глухов, В. С. Формирование околосвайного грунтового основания / В. С. Глухов, М. В. Панкина, Ю. С. Вишнякова // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – № 4 (57). – С. 122-126.
4. СП 24.13330.2021. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85* – Введ. 2022–01–15. – М.: Минстрой России, 2022. – 134 с.
5. СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. – М., 2017.
6. ГОСТ 5686-2020. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. – М.: Стандартинформ, 2021. – 45 с.

© Глухов В. С., Вишнякова Ю. С., 2026