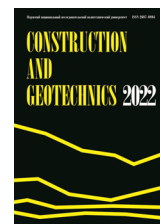




CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 14, № 1, 2023

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2023.1.01

УДК 624.154

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ С УШИРЕНИЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В.С. Глухов, П.К. Гаврилов

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, Пенза, Россия

### О СТАТЬЕ

Получена: 19 ноября 2022  
Одобрена: 25 декабря 2022  
Принята к публикации:  
6 февраля 2023

#### Ключевые слова:

несущая способность, предельное сопротивление, осадка, сваи в пробитых скважинах, уплотнение грунта, статические испытания, «срыв» сваи.

### АННОТАЦИЯ

В последние годы в связи с возрастающими объемами городской застройки наблюдается тенденция к исчерпанию в крупных городах территориальных резервов, пригодных для строительства. Всё чаще для возведения гражданских и промышленных зданий приходится использовать территории с малоблагоприятными грунтовыми условиями. В подобных случаях применяют различные свайные фундаменты, обладающие существенными техническими и экономическими преимуществами по сравнению с фундаментами на естественном основании.

Среди прогрессивных конструкций свайных фундаментов особое место занимают сваи в пробитых скважинах с уширением, обеспечивающие улучшение физико-механических свойств грунтов основания в процессе производства работ, а также снижение материальных, энергетических и трудовых затрат при их устройстве. Сваи указанного типа проектируются с использованием разработанной нормативной базы СТО 36554501-018-2009 «Проектирование и устройство свайных фундаментов и упрочненных оснований из набивных свай в пробитых скважинах».

В то же время особую актуальность приобретает задача повышения качества работ по проектированию, устройству, а также оценке и прогнозированию несущей способности свай. Данная задача с высокой степенью точности решается путём проведения крупномасштабных испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой. Указанные испытания выполняются в реальных условиях площадки строительства и позволяют выполнить наблюдение за общим характером изменения осадки сваи под действием нагрузки.

Статья посвящена решению задачи повышения эффективности оценки несущей способности свай по данным статических испытаний. На примере результатов испытаний одиночных свай в пробитых скважинах с уширением, авторами статьи дается оценка эффективности применения существующих отечественных и зарубежных методов определения несущей способности свай. В рамках решения обозначенного вопроса проведено сравнение результатов определения несущей способности по СП 24.13330.2021 с данными, полученными в ходе использования методов Davisson, Chin, De Beer, Hansen, Decourt и «Еврокод 7». Отмечаются достоинства и недостатки используемых подходов. На основании накопленного практического опыта испытаний свай в пробитых скважинах с уширением в различных грунтовых условиях авторами статьи предложен альтернативный метод интерпретации графика «осадка – нагрузка».

© ПНИПУ

© Глухов Вячеслав Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, e-mail: gds@pguas.ru  
Гаврилов Павел Константинович – аспирант, e-mail: pavel.gavrilov58@yandex.ru

Vyacheslav S. Glukhov – Ph. D. in Technical Science, Associate Professor, e-mail: gds@pguas.ru  
Pavel K. Gavrilov – Postgraduate Student, e-mail: pavel.gavrilov58@yandex.ru

## COMPARISON OF METHODS FOR DETERMINATION THE BEARING CAPACITY OF PILES IN PUNCHED HOLES WITH BROADENING USING THE RESULTS OF STATIC LOAD TESTS

V.S. Glukhov, P.K. Gavrilov

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 19 November 2022  
Approved: 25 December 2022  
Accepted for publication:  
06 February 2023

#### Keywords:

bearing capacity, ultimate resistance, settlement, piles in punched holes, soil compaction, static load tests, pile's "failure".

### ABSTRACT

In recent years, due to the increasing of urban construction extent, there has been a tendency to exhaust of territorial reserves, suitable for construction in large cities. Increasingly, it is necessary to use territories with unfavorable soil conditions for the construction of civil and industrial buildings. In such cases, various pile foundations are used, which have significant technical and economic advantages compared to foundations on a natural bases.

Among the progressive designs of pile foundations, a special place is occupied by piles in punched holes with broadening (SPSu), which ensure the improvement of the physical and mechanical properties of the foundation during the production of works, as well as the reduction of material, energy and labor costs during their installation. Piles of this type are designed using the developed regulatory framework ISO 36554501-018-2009 "Design and installation of pile foundations and reinforced foundations from packed piles in punched holes".

At the same time, the task of improving the quality of work on the design, arrangement, as well as the assessment and prediction of the bearing capacity of piles becomes particularly relevant. This task is solved with a high degree of accuracy by conducting large-scale tests of piles with a static load tests. These tests are carried out in real conditions of the construction site and allow to observe the changes pile's settlement under load.

The article is devoted to solving the problem of increasing the efficiency of assessing the bearing capacity of piles according to static load tests. Using the example of the test results of single SPSu, the authors of the article assess the effectiveness of the existing domestic and foreign methods for determining the bearing capacity of piles. As part of the solution of this issue, the results of the bearing capacity determining according to SP 24.13330.2021 were compared with the data obtained during the use of Davisson, Chin, De Beer, Hansen, Decourt and Eurocode 7 methods. The advantages and disadvantages of this approaches used are noted. Based on the accumulated practical experience of testing the SPSu in various ground conditions, the authors of the article proposed an alternative method of interpreting the "settlement – load" graph.

© PNRPU

---

## Введение

С учётом современной тенденции повышения плотности городской застройки за счёт использования территорий со слабыми структурно-неустойчивыми грунтами и роста вертикальных нагрузок на основания сооружений, свайные фундаменты получили широкое распространение в отечественной и зарубежной практике строительства как наиболее надежное и универсальное решение для возведения зданий в различных инженерно-геологических условиях. Таким образом, в настоящее время задача модернизации методик определения несущей способности свай по грунту и контроля качества работ по их устройству весьма актуальна и приобретает особую значимость в геотехническом проектировании.

Максимальное использование несущей способности свай обеспечивает оптимизацию материально-технических затрат на их устройство при полном использовании прочностных свойств грунта основания. Поэтому наиболее важным с практической точки зрения является решение вопроса об определении предельной нагрузки на сваи до начала массового устройства свайного поля. Несущая способность свай в полевых условиях может быть определена следующими методами: статическими испытаниями свай, динамическими ис-

пытаниями свай, испытаниями грунтов эталонной сваей, испытаниями грунтов статическим зондированием.

Испытания грунтов статической вдавливающей нагрузкой сваями, проводимые согласно ГОСТ 5686-2020, являются наиболее достоверным и универсальным способом оценки несущей способности свай. Момент достижения предельного состояния грунта, соответствующий исчерпанию несущей способности сваи, связан с эффектом «срыва» – явлением, характеризующимся постоянным нарастанием перемещений сваи без увеличения действующего усилия [1]. В действующих в нашей стране строительных нормативах, наряду с оценкой несущей способности по моменту «срыва» сваи, несущая способность определяется в зависимости от допускаемой величины осадки  $S_u$  для проектируемого объекта. Последнее достаточно спорно. Поэтому выработка более объективных критериев оценки несущей способности свай по результатам статических испытаний является весьма актуальной задачей.

Однако при испытании свай статической нагрузкой в ряде случаев «срыва» не происходит – график «нагрузка – осадка» имеет равномерную непрерывную кривизну без перелома. Серьезной проблемой при проведении испытаний является устройство анкерной системы, воспринимающей реактивное вертикальное усилие при загрузке опытной сваи. В соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2020, все конструкции установок, применяемые для испытаний, должны быть рассчитаны на нагрузку, превышающую на 20 % наибольшую нагрузку, предусмотренную программой испытаний, составляющую  $1,5 F_d$ , где  $1,5 F_d$  – несущая способность сваи. Данное ограничение иногда не позволяет выполнить нагружение сваи нагрузкой, вызывающей «срыв» сваи. Таким образом, проведение статических испытаний сваи до момента «срыва» и определение полной несущей способности в отдельных случаях представляет собой достаточно сложную задачу.

В отечественной практике фундаментостроения оценка результатов испытаний свай проводится в соответствии с требованиями СП 24.13330.2021, в то время как в Европейском союзе, помимо национальных стандартов, применяют общие требования, изложенные в Еврокоде 7. Помимо этого, для оценки предельной нагрузки на сваю, когда не наблюдается состояние «срыва», разработано несколько методов экстраполяции кривой «нагрузка – осадка» [2]. Наибольший интерес представляют следующие методики: Davisson, Chin, De Beer, Hansen, Decourt [3]. Цель данной работы состоит в сравнении различных методов интерпретации результатов статических испытаний и выявлении наиболее достоверного способа определения несущей способности свай.

## Основная часть

Для оценки эффективности использования вышеупомянутых методов определения несущей способности свай авторами осуществлена обработка результатов статических испытаний на площадке строительства складского корпуса, расположенной в г. Тольятти. На данном объекте выполнено устройство свай в пробитых скважинах с уширением (СПСу). Для последних характерна высокая степень использования несущей способности основания вследствие формирования уплотненной зоны под уширением, в пределах которой увеличивается прочность и снижается деформативность грунта [4]. Внешние нагрузки сначала передаются на уплотненный грунт, а затем на грунты природного сложения. Формирование уплотненной области грунтового основания в процессе устройства свай способствует

повышению несущей способности последней. Технология устройства свай заключалась в пробивке скважин в грунте с применением цилиндрической трамбовки массой  $m = 5,0$  т и диаметром  $d = 0,45$  м. Для увеличения сопротивления нагрузке в забое скважины формировалось уширение из втрамбованного щебня [5].

Геологический разрез участка (рис. 1) на глубину 15,0 м представлен аллювиальными отложениями среднечетвертичного возраста (аQII), которые литологически сложены до глубины  $8,0 \div 8,4$  м суглинком твердой и полутвердой консистенции, а ниже – туго- и мягкопластичной консистенции. С поверхности указанный слой прикрыт насыпным грунтом (tQIV) и почвой (pdQIV) общей мощностью от 1,0 до 2,2 м. Подземные воды вскрыты всеми скважинами на глубине  $8,3 \div 8,6$  м, что соответствует абсолютным отметкам  $57,60 \div 57,98$  м. Опасных физико-геологических процессов на участке и прилегающей к нему территории не имеется. Физико-механические показатели грунтов основания площадки строительства сведены в табл. 1.

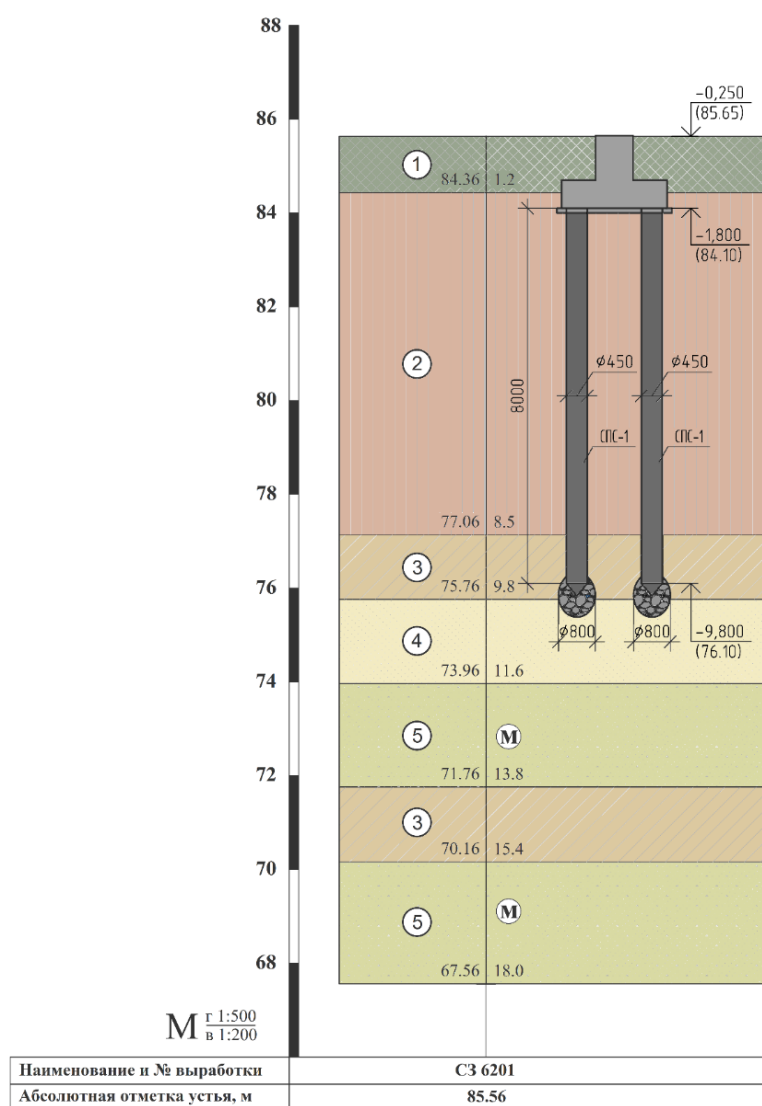


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез площадки строительства с привязкой СПСу  
 Fig. 1. Engineering and geological cross-section of the construction site with the binding of piles in punched holes with broadening (SPSu)

Таблица 1

Показатели физико-механических характеристик грунтов

Table 1

Physical-mechanical characteristics of the soils

№ п/п	Название	$E$	$\varphi$	$C$	$I_L$	$\rho$	$\rho_0 (d)$	$e$
		МПа	Град	кПа	д.е.	т/м <sup>3</sup>	т/м <sup>3</sup>	д.е.
1	Насыпной грунт	–	–	–	–	1,57	1,35	–
2	Суглинок твердый, просадочный	13,0	21,0	19,0	0,66	1,76	1,54	0,76
3	Суглинок твердый, непросадочный	17,0	23,0	17,0	0,53	1,90	1,67	0,63
4	Песок мелкий, средней плотности	22,0	30,0	3,0	–	1,72	1,61	0,65
5	Песок мелкий, плотный	33,0	34,0	3,0	–	1,81	1,70	0,56

Полевые статические испытания грунтов производились согласно ГОСТ 5686-2020. Испытаниям была подвержена опытная свая СПС-1 длиной  $l = 8,0$ , диаметром  $d = 0,45$  м, материал свай – бетон В20 W6, объем втрамбованного щебня в уровне пяты сваи  $V_{щ} = 0,5$  м<sup>3</sup>. Расчётно-допускаемая нагрузка на сваю согласно проекту  $N_{р.д.} = 800,0$  кН.

Нагружение свай выполнялось с использованием гидравлической системы, включающей в себя насосную станцию марки НРГ-7160 и домкрат марки ДГ200П150 грузоподъемностью 200,0 т.с. Контроль за величиной давления в системе осуществлялся при помощи манометра с ценой деления 10,0 бар. В качестве опорной конструкции, воспринимающей вертикальную нагрузку при загрузке сваи использован испытательный стенд в виде стальной фермы, закрепленной с помощью системы балок и анкерных свай (рис. 2) [1].

Для ведения наблюдений за осадками испытываемых свай использовалась реперная система с прогибомерами с ценой деления 0,1 мм. Исправность приборов и точность их измерений подтверждены предварительной тарировкой, выполненной непосредственно перед процедурой статических испытаний [6]. Результаты полевых испытаний в виде графика «осадка – нагрузка» представлены на рис. 3.



Рис. 2. Общий вид стенда для статических испытаний свай  
 Fig. 2. General view of the stand for the pile's static load tests

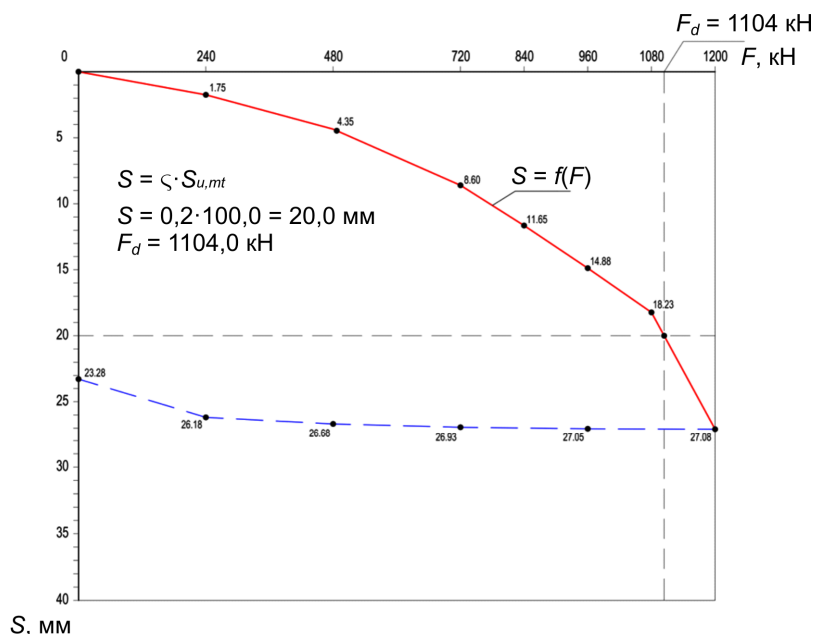


Рис. 3. Определение нормативного значения несущей способности сваи по СП 24.13330.2011  
 Fig. 3. Determination of the pile's standard bearing capacity by SP 24.13330.2011

Согласно п. 7.3.5 СП 24.13330.2021 за нормативное значение несущей способности сваи или сваи-оболочки следует принимать нагрузку, под воздействием которой испытываемая свая или свая-оболочка получит осадку  $S$ , равную [7]:

$$S = \zeta \cdot S_{u,mt} \quad (1)$$

где  $S_{u,mt}$  – предельное значение средней осадки фундамента проектируемого здания или сооружения, устанавливаемое согласно приложению Г СП 22.13330.2016;  $\zeta$  – коэффициент перехода от предельного значения средней осадки фундамента здания или сооружения  $S_{u,mt}$  к осадке сваи, полученной при статических испытаниях с условной стабилизацией (затуханием) осадки, равный  $\zeta = 0,2$ .

В соответствии с п. 7.6.1.1 «Еврокод 7» при проектировании свайных фундаментов необходимо принимать предельную нагрузку, при которой происходит потеря несущей способности сваи, т.е. «достигается состояние, когда свайный фундамент имеет значительные перемещения при незначительном увеличении нагрузки». В соответствии с вышеуказанным нормативом описанное состояние свайного фундамента принято считать аварийным и абсолютно недопустимым.

В случаях, когда довольно трудно определить предельную нагрузку на сваи по результатам статических испытаний ввиду незначительного изменения кривизны графика «осадка – нагрузка», согласно «Еврокод 7» за критерий нормативной несущей способности сваи принимают нагрузку, соответствующую осадке, равной  $0,1d$ , где  $d$  – диаметр сваи (рис. 4).

На основании имеющегося опыта проектирования и устройства СПСу можно отметить, что геометрические параметры свай указанного типа ограничены размерами трамбовки, таким образом, диаметр ствола последней находится в пределах  $d = 0,4 \div 0,6$  м. При этом осадка одиночных СПСу, достигнутая в ходе статических испытаний на последних ступенях загрузки, как правило, находится в диапазоне  $S = 15,0 \div 35,0$  мм.

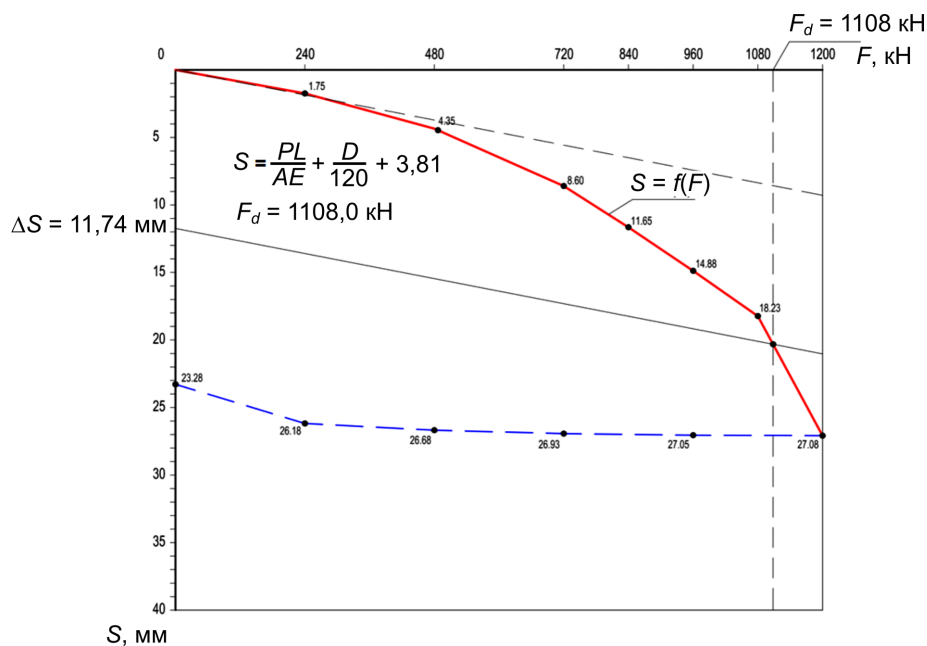


Рис. 4. Определение несущей способности сваи по методу Davisson  
 Fig. 4. Determination of the pile's bearing capacity by Davisson method

При максимальном усилии на сваю в ходе статических испытаний была достигнута осадка  $S = 27,08$  мм, что значительно меньше перемещения, равного  $\Delta = 0,1d = 45,0$  мм. Данное наблюдение позволяет сделать вывод о сложности использования методики «Еврокод 7» при интерпретации результатов испытаний СПСу ввиду их геометрических параметров и высокой удельной несущей способности относительно свай традиционных типов.

Эмпирический интерпретационный метод Davisson [8–10] был разработан в соответствии с результатами, полученными в ходе применения волновой теории удара при испытании забивных свай. Предельная нагрузка на сваю по методу Davisson определяется как пересечение кривой «нагрузка – осадка» и прямой линии, находящейся на некотором расстоянии  $\Delta S$  от касательной к графику  $S = f(F)$ . Смещение касательной линии определяется по формуле:

$$\Delta S = \frac{NL}{AE} + \frac{D}{120} + 3,81, \quad (2)$$

где  $N$  – нагрузка, действующая на сваю, кН;  $A$  – площадь сечения сваи,  $\text{м}^2$ ;  $E$  – модуль деформации материала сваи, кПа;  $L$  – длина ствола сваи, м;  $D$  – диаметр сваи, м.

Метод определения несущей способности сваи, предложенный Chin, основан на предположении, что зависимость между приложенной нагрузкой  $F$ , кН, и осадкой головы сваи  $S$ , мм, является гиперболической [6, 11, 12]. В методе Chin каждое частное значение перемещения сваи делится на соответствующее значение нагрузки. Полученные значения  $S/F$ , построенные по отношению к осадке, позволяют прочертить прямую линию, обратный уклон которой по данному методу определяет предельную нагрузку на сваю (рис. 5):

$$F_{ult} = \frac{1}{C_1}, \quad (3)$$

где  $F_{ult}$  – предельная нагрузка на сваю;  $C_1$  – уклон графика  $S = f(S/F)$ .

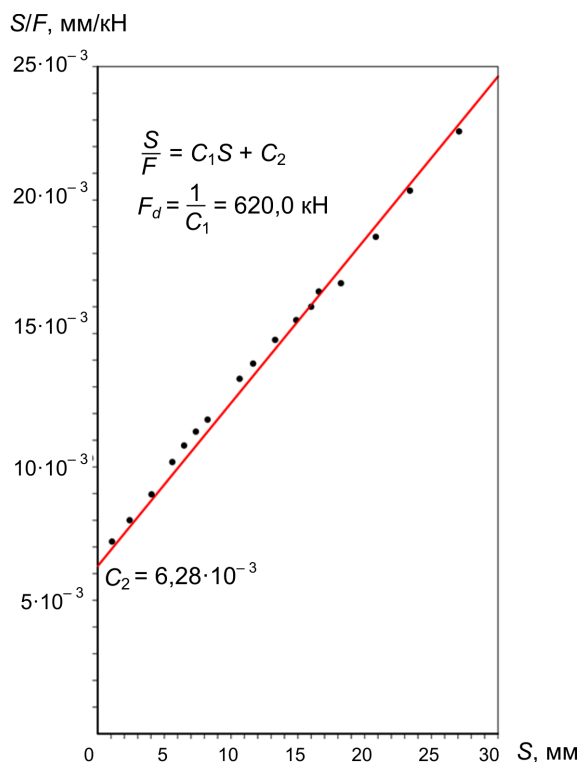


Рис. 5. Определение несущей способности сваи по методу Chin  
 Fig. 5. Determination of the pile's bearing capacity by Chin method

Метод De Beer [2, 9] представляет собой графический способ определения предельной нагрузки на сваю, где значения осадки и нагрузки отображаются на двойной логарифмической диаграмме. За критерий предельной нагрузки в данном методе принимается точка пересечения двух относительно прямых участков логарифмического графика «осадка – нагрузка» (рис. 6).

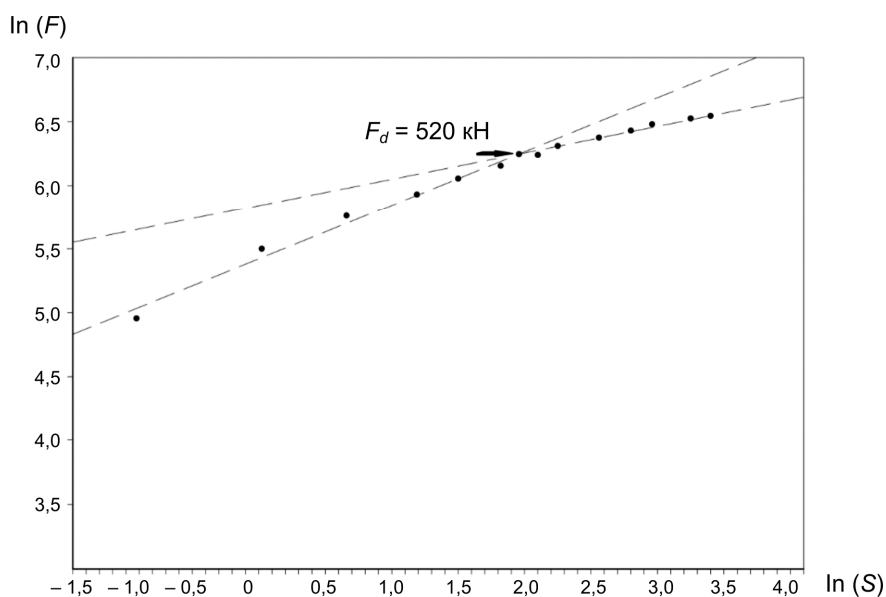


Рис. 6. Определение несущей способности сваи по методу De Beer  
 Fig. 6. Determination of the pile's bearing capacity by De Beer method



В методе Hansen [2, 13] в качестве предельной нагрузки на сваю предлагается принимать такую величину действующего усилия, при которой полученная осадка сваи будет в четыре раза выше её перемещения под действием 80 % этой нагрузки. Данная величина определяется согласно графику  $S=f(F)$ , однако для более точного определения искомой величины следует выполнить построение вспомогательного графика функции  $S=f(\sqrt{F}/S)$  в виде прямой линии (рис. 7). Предельные значения нагрузки  $F_{\max}$ , кН, и осадки сваи  $S_{\max}$ , м, следует определять по формулам:

$$F_{\max} = \frac{1}{2\sqrt{C_1 C_2}}, \quad (4)$$

$$S_{\max} = \frac{C_1}{C_2}, \quad (5)$$

где  $C_1$  – уклон прямой линии;  $C_2$  – пересечение прямой линии с вертикальной осью координат  $\sqrt{F}/S$ .

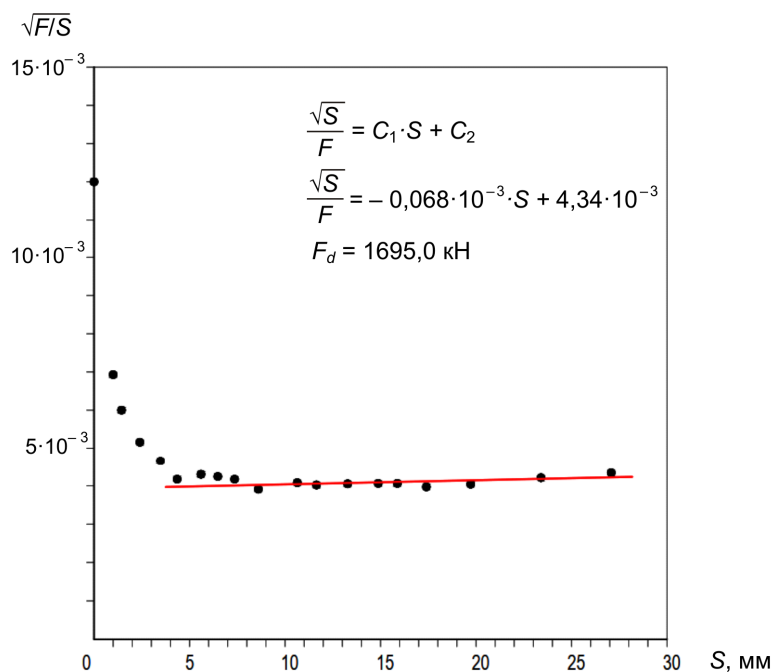


Рис. 7. Вспомогательный график к определению несущей способности сваи по методу Hansen  
 Fig. 7. Supporting graph to determination of the pile's bearing capacity by Hansen method

Методика определения несущей способности сваи, предложенная Descourt [14, 15], во многом напоминает способы определения предельной нагрузки, предложенные Chin и Hansen. Суть метода Descourt заключается в предварительном делении величин приложенных усилий на соответствующие им значения осадки. Далее полученные значения  $Q/S$  соотносятся со значениями  $Q$ , таким образом происходит построение графика вида  $Q/S=f(Q)$  (рис. 8). За величину предельной нагрузки на сваю принимают значение приложенного усилия, соответствующего точке пересечения полученного графика с осью абсцисс. Предельная нагрузка, выявленная графическим методом, равна значению, полученному по формуле

$$Q_u = \frac{C_2}{C_1}, \quad (6)$$

где  $C_1$  – уклон прямой линии;  $C_2$  – пересечение прямой линии с вертикальной осью координат  $Q/S$ .

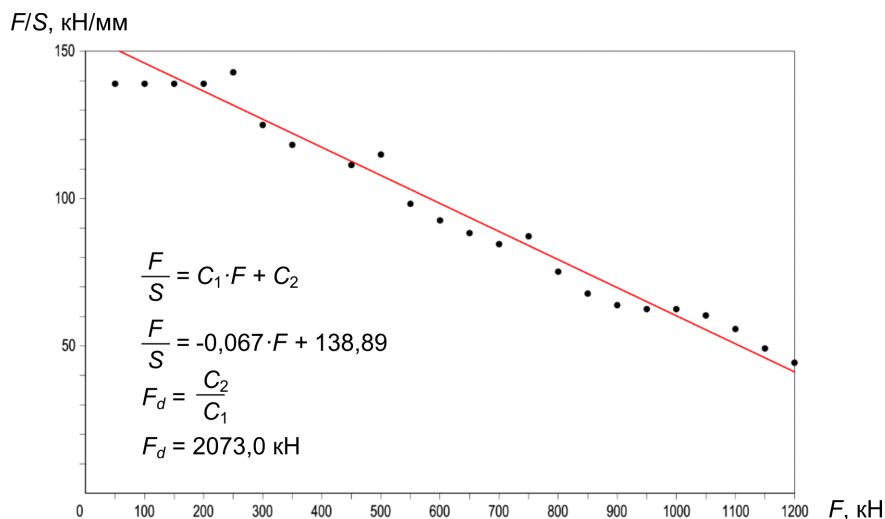


Рис. 8. Определение несущей способности сваи по методу Decourt  
 Fig. 8. Determination of the pile's bearing capacity by Decourt method

## Заключение

Как следует из табл. 2, результаты, полученные на основе методов Chin и De Beer, значительно меньше значений, выявленных согласно методикам СП 24.13330.2021 и Davisson, имеющим весьма высокую сходимость. В то же время при использовании методов Hansen и Decourt получены завышенные значения несущей способности свай, объективность и точность которых весьма сложно оценить ввиду отсутствия «срыва» сваи в процессе статических испытаний.

Таблица 2

Результаты определения несущей способности

Table 2

Results of the pile's bearing capacity determination

Метод интерпретации результатов испытаний сваи	$F_{ds}$ , кН
СП 24.13330.2021	1104,0
Davisson	1080,0
Chin	620,0
De Beer	520,0
Hansen	1695,0
Decourt	2073,0

Выполненное сравнение зарубежных методов интерпретации результатов испытаний свай позволяет сделать вывод о сложности и трудоемкости их использования на практике. Большинство из рассмотренных методов (Chin, De Beer, Hansen и Decourt) основаны на аналитических вычислениях и выявлении математических зависимостей между искомыми

величинами. При этом вышеуказанные подходы не учитывают параметры испытываемой сваи и характеристики грунтового основания, что сказывается на объективности полученных результатов.

Авторы считают, что методы «Еврокод 7» и Davisson в наибольшей степени реально отражают состояние грунтового основания свай по несущей способности, увязывая последнюю с диаметром сваи. В определенной степени такой подход перекликается с оценкой несущей способности грунтового основания фундаментов мелкого заложения. В формулу определения несущей способности основания указанных фундаментов входят параметры размеров подошвы фундаментов.

На основании вышеприведенного испытания следует вывод, что за критерий несущей способности нужно принимать нагрузку на сваю, соответствующую осадке:

$$S = 0,2 \cdot d \cdot \zeta_p, \quad (7)$$

где  $d$  – диаметр ствола сваи;  $\zeta_p$  – реологический коэффициент, учитывающий кратковременность проведения испытаний, исходя из условностей методики стабилизации грунтового основания от каждой ступени нагружения опытной сваи по сравнению с работой последней в качестве фундамента в реальных условиях строительства.

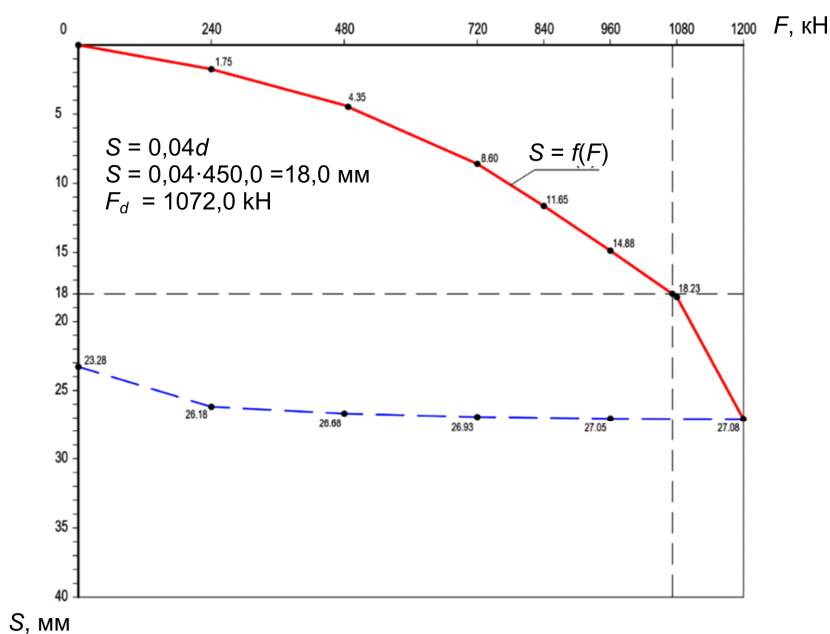


Рис. 9. Определение несущей способности сваи  $F_d$  при  $S = 0,2 d \zeta_p$   
Fig. 9. Determination of the pile's bearing capacity by  $S = 0,2 d \zeta_p$

В этом случае несущая способность сваи по результатам статических испытаний не будет зависеть от конструктивных особенностей надземной части объекта строительства. Такой подход является новым для рассматриваемых свай и требует экспериментального подтверждения при дальнейших испытаниях в различных грунтовых условиях.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

## **Библиографический список**

1. Глухов В.С., Гаврилов П.К. Оценка несущей способности свай при испытании статической нагрузкой // *Строительство и архитектура*. – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 22–27. DOI: 10.29039/2308-0191-2020-8-4-22-27
2. Применение интерпретационных методов для определения несущей способности составных железобетонных свай / А.Ж. Жусупбеков, К.Б. Боргекова, Е.Б. Утепов, А.Р. Омаров, С.Б. Ахажанов // *Труды университета*. – 2018. – № 3 (72). – С. 104–108.
3. Awad-Allah M.F. Reliability of the International Codes for Estimating the Bearing Capacity of Pile Foundation // *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. – 2018. – P. 467–486.
4. Седин В.Л., Винников Ю.Л., Бикус Е.М. О влиянии повторных нагружений набивных свай в пробитых скважинах на деформативность оснований // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2014. – № 3. – С. 110–118.
5. Глухов В.С., Гаврилов П.К. Оценка несущей способности свай в пробитых скважинах с уширением по результатам полевых испытаний и поверочных расчётов // *Актуальные проблемы современного фундаментостроения с учетом энергосберегающих технологий: сб. материалов XI Всероссийской научно-практической конференции*. – Пенза, 2020. – С. 44–51.
6. Пономарев А.Б., Сурсанов Д.Н., Ержаковский Е.О. К вопросу определения несущей способности свай на заторфованных территориях // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2018. – № 4 (712). – С. 32–41.
7. Экспериментальные исследования несущей способности свай FUNDEX после длительного "отдыха" в глинистых грунтах статическими вдавливающими и выдергивающими нагрузками / А.В. Савинов, В.Э. Фролов, Ю.Н. Бровиков, М.П. Кожинский // *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*. – 2019. – Т. 10, № 4. – С. 13–29. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.02
8. Davisson M.T. High capacity piles. Proceedings of Lecture Series on Innovations in Foundation Construction // *American Society of Civil Engineers*. – Chicago, 1972. – P. 81–112.
9. Fellenius B.H. The analysis of results from routine pile load tests // *Ground Engineering*. – London, 2005. – P. 21–29.
10. Белых А.Н., Астахов И.А., Евдокимов А.А. Оценка несущей способности свай по результатам статических испытаний. Метод Дэвиссона // *Перспективы науки*. – 2021. – № 4 (139). – С. 231–233.
11. Chin F.K. Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure // *Proc. 2nd Southeast Asian Conf. on Soil Engng*. – 1970. – P. 81–90.
12. Шмидт О.А. Совершенствование методики определения несущей способности сваи по результатам статистических испытаний // *Современное оборудование, методы инструментального обследования и усиления зданий и сооружений*. – 2019. – С. 80–87.
13. Hansen J.B. Discussion on Hyperbolic Stress-Strain Response, Cohesive Soils // *Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering*. – 1963. – Vol. 89. – P. 241–442.
14. Fellenius B.H. What capacity value to choose from the results a static loading test. We have determined the capacity, then what? // *Deep Foundation Institute*. – Fulcrum Winter, USA, 2001. – P. 19–26.

15. Decourt L. Behavior of Foundations under Working Load Conditions // Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. – Foz DoIguassu, August, 1999. – Vol. 4. – P. 453–488.

## References

1. Glukhov V.S., Gavrilov P.K. Otsenka nesushchej sposobnosti svaj pri ispytanii staticheskoy nagruzkoj [Assessment of the bearing capacity of piles during static load test]. *Construction and architecture*, 2020, vol. 8, no. 4, pp. 22-27. DOI: 10.29039/2308-0191-2020-8-4-22-27
2. Zhussupbekov A., Borgekova E., Utepov Y., Omarov A., Akhazhanov S. Primenenie interpretatsionnykh metodov dlya opredeleniya nesushchej sposobnosti sostavnykh zhelezobetonnykh svaj [Application of interpretive methods to determine the bearing capacity of composite reinforced concrete piles]. *Trudy universiteta*, 2018, no. 3 (72), pp. 104-108.
3. Awad-Allah M.F. Reliability of the international codes for estimating the bearing capacity of pile foundation. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2018, pp. 467–486.
4. Siedin V.L., Vynnykov Yu.L., Bikus K.M. O vliyanii povtornykh nagruzenij nabivnykh svaj v probitykh skvazhinakh na deformativnost ikh osnovanij [Repeated loading effect on foundation distortion under filling piles cast in boreholes]. *Vestnik Permskogo natsional'no issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 3, pp. 110-118.
5. Glukhov V.S., Gavrilov P.K. Otsenka nesushchej sposobnosti svaj v probitykh skvazhinakh s ushireniem po rezultatam polevykh ispytanij i poverochnykh raschyotov [Assessment of the bearing capacity of piles in drilled wells with broadening based on the results of field tests and verification calculations]. *Sbornik materialov XI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii*, Penza, 2020, pp. 44-51.
6. Ponomarev A.B., Sursanov D.N., Erzhakovskiy E.O. K voprosu opredeleniya nesushchej sposobnosti svaj na zatorfovannykh territoriyakh [To the question of determination of piles bearing capacity on peaty territories]. *News of higher educational institutions*, 2018, no. 4 (712), pp. 32-41.
7. Savinov A.V., Frolov V.E., Brovikov Y.N., Kozhinskiy M.P. Eksperimentalnye issledovaniya nesushchej sposobnosti svaj FUNDEX posle dlitel'nogo "otdykha" v glinistykh gruntakh staticheskimi vdavlivayushchimi i vydergivayushchimi nagruzkami [Experimental tests of a bearing capacity of "FUNDEX" piles after the long "relaxation" in clay soils the dead pressing and pulling-out loads]. *Vestnik Permskogo natsional'no issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2019, vol. 10, no. 4, pp. 13-29. DOI: 10.15593/2224-9826/2019.4.02
8. Davisson M.T. High capacity piles. Proceedings of lecture series on innovations in foundation construction. *American Society of Civil Engineers*, Chicago, 1972, pp. 81–112.
9. Fellenius B.H. The analysis of results from routine pile load tests. *Ground Engineering*, London, 2005. pp. 21–29.
10. Belykh A.N., Astakhov I.A., Evdokimov A.A. Otsenka nesushchej sposobnosti svaj po rezultatam staticheskikh ispytanij. metod Devissona [Estimation of pile bearing capacity based on static loading tests. Davisson offset limit method]. *Science prospects*, 2021, no. 4 (139), pp. 231-233.
11. Chin F.K. Estimation of the ultimate load of piles not carried to failure. *Proc. 2nd South-east Asian Conf. on Soil Engng.*, 1970, pp. 81–90.

12. Shmidt O.A. Sovershenstvovanie metodiki opredeleniya nesushchej sposobnosti svai po rezultatam statisticheskikh ispytaniy [Improvement of the methodology for determining the bearing capacity of piles based on the results of static tests]. *Sovremennoe oborudovanie, metody instrumentalnogo obsledovaniya i usileniya zdaniy i sooruzhenij*, 2019, pp. 80-87.

13. Hansen J.B. Discussion on hyperbolic stress-strain response, cohesive soils. *Journal for Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1963, vol. 89, pp. 241–442.

14. Fellenius B.H. What capacity value to choose from the results a static loading test. We have determined the capacity, then what? Deep Foundation Institute, Fulcrum Winter, USA, 2001, pp. 19–26.

15. Decourt L. Behavior of foundations under working load conditions. *Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Foz DoIguassu, August, 1999, vol. 4, pp. 453–488.