

УДК 624.154.1:624.131.43

**ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ СТАТИЧЕСКОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТА ДЛЯ РАСЧЕТА СВАЙ
НА ДЕЙСТВИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ НАГРУЗКИ**

**ON USE OF CPT DATA FOR PILE ANALYSIS
UNDER HORIZONTAL LOAD**

Гончаров Б.В., Фаттахов М.М., Галимнурова О.В., Насыров Ш.Р.,
ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический
университет», г. Уфа, Российская Федерация

B.V. Goncharov, M.M. Fattakhov, O.V. Galimnurova, Sh.R. Nasyrov,
FSBEI NPE «Ufa State Petroleum Technological University»,
Ufa, the Russian Federation
e-mail: galimnurova@mail.ru

Аннотация. В статье описана методика определения коэффициента постели по данным статического зондирования. Для разработки методики выполнены экспериментальные исследования в полевых условиях. На первом этапе работы получены результаты параллельных парных испытаний грунтов статическим зондированием и стандартным штампом по ГОСТам 19912-2011 и 20276-1999. После обработки полученных экспериментальных данных предлагается корреляционная расчетная формула для определения модуля общей линейной деформации грунтов, являющаяся базовой для определения коэффициента постели.

На втором этапе работы выполнены полевые исследования на трех опытных площадках, сложенных дисперсными связными грунтами. В статье представлены результаты испытаний свай на горизонтальную нагрузку и результаты статического зондирования грунтов - величины сопротивлений грунта под наконечником зонда по всей глубине

погружения свай. Полученные экспериментальные данные дали возможность построить графики, по которым в зависимости от глубины погружения сваи и осредненной величины сопротивления под наконечником зонда можно определять предельную горизонтальную нагрузку.

При построении графиков использован метод экстраполяции данных, полученных при испытании на горизонтальную нагрузку свай длиной $l = 8$ м, на сваи длиной $l = 12$ м. Выведены параболические зависимости предельной горизонтальной нагрузки на сваю от её длины и величины сопротивления грунта под наконечником зонда при статическом зондировании. Полученные параболические зависимости спрямлялись для получения расчетных линейных зависимостей и общей номограммы для интервала пластичности дисперсных связных грунтов: «тугопластичная-текучепластичная консистенция».

Предлагаемый метод расчета величины предельного сопротивления сваи при горизонтальной нагрузке позволяет получить результаты без трудоемких, длительных и дорогостоящих статических испытаний свай.

Abstract. Method of coefficient of subgrade reaction evaluation by CPT data is described in the article. To work out the method, experimental field investigations were carried out. At the first step, results of the parallel coupled soil tests with CPT and standard stamp according to GOST 19912-2011 and 20276 -1999 were obtained. After processing the experimental data obtained, the correlation design formula is offered to determine the modulus of the total linear soil strain, this formula is the basis for coefficient of subgrade reaction evaluation.

At the second step, field investigations at three sites composed of dispersed cohesive soils were carried out. The paper presents results of pile horizontal load test and results of soil CPT – the values of soil resistance under the cone end along the whole depth of pile penetration. The experimental data obtained allowed diagrams plotting by which the ultimate horizontal load could be

determined in dependence upon depth of pile penetration and averaged value of resistance under the cone end.

While diagrams plotting, method of extrapolation of data obtained when 8 and 12 meter length pile horizontal load test was used. Parabolic dependences of the pile ultimate horizontal load upon its length and soil resistance value under the cone end while CPT are shown. The above parabolic dependences were straitened to obtain the design linear dependences and the overall chart for the interval of plasticity of dispersed cohesive soils: “tough – very soft consistency”.

The offered method of analysis of the pile ultimate resistance under horizontal load allows obtaining results without labor-intensive, long-term and expensive CPT.

Ключевые слова: статическое зондирование, коэффициент постели, отпор грунта, предельная горизонтальная нагрузка, слабый и неоднородный грунт, модуль деформации грунта.

Key words: cone penetration test (CPT), subgrade reaction coefficient, earth back pressure, ultimate horizontal load, weak and nonhomogeneous soil, modulus of soil deformation.

В материалах II Международного симпозиума по статическому зондированию [1] отмечается, что основными задачами дальнейшего развития метода является расчет несущей способности свай и методики оценки модуля деформации глинистых грунтов. Нужно отметить, что большинство разработанных методов направлены пока на расчет свай на вертикальную нагрузку, хотя разработка новых методов расчета на горизонтальные нагрузки позволит выполнять расчет свайных фундаментов на действие любых комбинаций нагрузок по данным статического зондирования.

В развитии новых методов расчета свай по данным статического зондирования в России следует отметить работы ГУП БашНИИСтрой и ОАО Фундаментпроект [2, 3, 4].

Сложившаяся практика проектирования фундаментов из забивных свай длиной более 3,0 м показывает, что при расчете на горизонтальные нагрузки используются две расчетные схемы в зависимости от глубины погружения сваи:

- свая некоторой конечной длины, изгибаясь, поворачивается вокруг нулевой точки;

- свая принимается гибкой бесконечно длинной, а форма изогнутой оси описывается некоторым дифференциальным уравнением.

Группы свай классифицируются по величине отношения рабочей длины сваи l в грунте к размеру ширины ее поперечного сечения $\alpha = l/d$. В таблице 1 приведены величины α для каждой группы.

Таблица 1. Классификация забивных свай

Величина α	$\alpha \leq 10$	$10 \leq \alpha \leq 20$	$\alpha > 20$
Наименование группы	Абсолютно жесткие	Конечной жесткости	гибкие

Трудности получения реальных значений предельной величины горизонтальной нагрузки на забивную сваю, определены двумя основными причинами:

- для проведения статических испытаний следует выполнить погружение пробных и анкерных свай с использованием сложных сваебойных агрегатов задолго до начала строительства, особенно, для свай длиной более $l = 10,0$ м, что приводит к высокой стоимости полученной информации о величине предельной нагрузки;

- вторая причина заключается в том, что рекомендуемый метод расчета по нормативным документам не позволяет учитывать нелинейность связи

«нагрузка-перемещение». Поэтому расчетные данные и результаты статических испытаний имеют значительные расхождения.

Например, в работе Б.В. Бахолдина, Е.В.Труфановой [5] приведены результаты сравнения данных определения величины предельного сопротивления расчетным и опытным путем.

На рисунке 1 представлены графики выполненной проверки на опытной площадке в г. Новокузнецке для свай глубиной погружения $l = 12,0$ м.

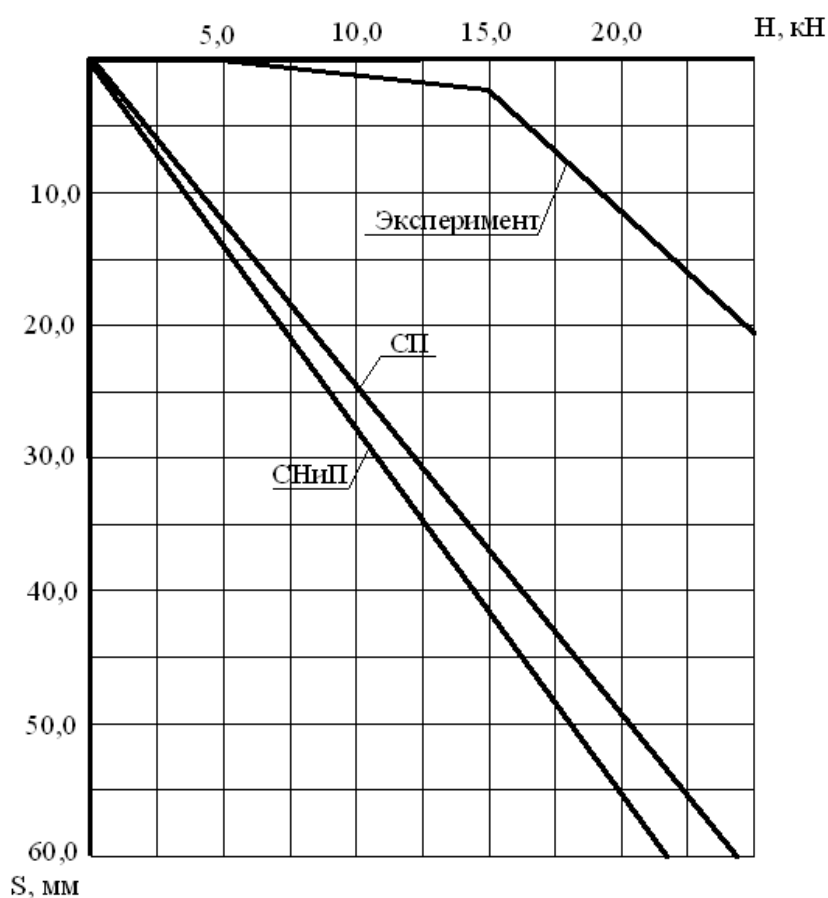


Рисунок 1. График зависимости перемещений от величины горизонтальной нагрузки

На кафедре «Автомобильные дороги» Уфимского государственного нефтяного технического университета сделана попытка предложить метод расчета свай на горизонтальную нагрузку по данным статического зондирования для свай классификационной группы $\alpha > 20$ [6].

Основные положения методики предлагаемого расчета приняты:

- величина предельной горизонтальной нагрузки на сваю пропорциональна величине коэффициента постели «К»;
- величина коэффициента постели принимается как для узкой гибкой балки на упругом основании согласно [7,8].

Для определения величины коэффициента постели «К» предлагается расчетная зависимость:

$$K = \frac{\pi \cdot E}{2(1 - \mu^2) \cdot d [\ln 4\alpha]} \quad (1)$$

где E – модуль деформации; μ – коэффициент Пуассона; d – ширина поперечного сечения свай; α – отношение глубины погружения сваи к ширине поперечного сечения сваи.

Были обработаны результаты параллельных парных испытаний грунта штампом и статическим зондированием зондом II типа. Предложена расчетная формула для определения модуля деформации по данным зондирования [9]:

$$E = 7,12q_c \quad (2)$$

С использованием зависимости (2) расчетная зависимость (1) будет иметь вид:

$$K = \frac{\pi \cdot 7,12q_c}{2(1 - \mu^2) \cdot d [\ln 4\alpha]} \quad (3)$$

где q_c – средняя величина лобового сопротивления зонда по глубине погружения сваи.

При устройстве свайных фундаментов в слабых грунтах для прохождения массива обычно используют сваи длиной до 12-13 м. Для обоснования предлагаемого метода расчета свай по данным статического зондирования использованы материалы статических испытаний свай и данные зондирования на полигоне, расположенном в пригороде г. Уфы на пологом берегу р. Шугуровка. Покровная толща грунтов полигона

представлена суглинками и глинами полутвердой, тугопластичной и мягкопластичной консистенции, мощностью яруса слоя до 15,0 м, подстилаемая коренными породами уфимского яруса пермского возраста.

Опытные работы проведены на трех площадках. Результаты зондирования приведены на рисунках 2а, 2б. Зондирование выполнено с использованием установки С-832М конструкции института БашНИИстрой, имеющей зонд II типа. Результаты испытаний и лабораторных исследований образцов грунтов основной площадки № 2 приведены в таблице 2.

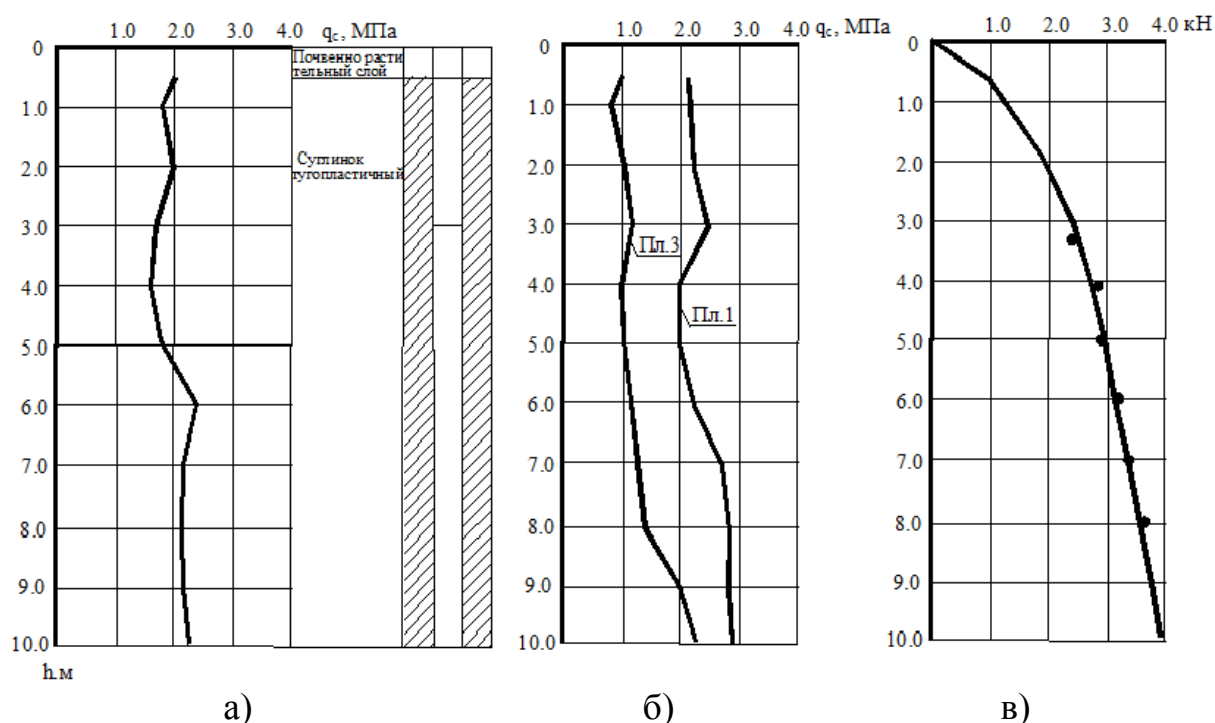


Рисунок 2. Результаты испытаний на площадках: 1а - статическое зондирование основной площадки № 2; 1б – статическое зондирование площадок № 1 и № 3; 1в – статические испытания свай на площадке № 2

Таблица 2. Результаты испытаний образцов грунта на площадке № 2

Глубина отбора, м	Наименование грунта	Естественная влажность	Удельный вес г/см ³	Объемный вес г/см ³	Пределы пластичности			Коэффициент пористости e	Индекс текучести I _L	Штамповый модуль деформации E, МПа
					W _p	W _L	I _p			
2,0	суглинок	26,0	2,72	2,01	18,4	36,7	18,3	0,69	0,40	12,5
4,0	суглинок	26,1	2,71	1,92	21,8	32,3	10,5	0,72	0,45	-
6,0	суглинок	26,2	2,66	1,98	21,5	32,6	18,0	0,77	0,32	-

На площадке № 2 также получены результаты статических испытаний шести свай с глубиной погружения от $l_0=3,5$ до $l_0=8,0$ м на действие горизонтальной нагрузки. Результаты испытаний приведены на рисунке 2в.

Так как погружение забивных свай, длиной более 8,0 м, осложнено дефицитом мобильных сваебойных агрегатов, предложено на базе, полученной, опытной зависимости (рисунок 1в), подобрать математическую функцию для расчета в подобных грунтовых условиях свай длиной $l=12$ м. На рисунке 3 показаны, совмещенные результаты опытной зависимости для определения предельной нагрузки в зависимости от длины сваи и расчетной зависимости с использованием параболической функции [10]:

$$Y = x^n \quad (4)$$

где Y – величина предельной горизонтальной нагрузки по заданному перемещению в уровне поверхности грунта; x – рабочая длина погружения сваи; n - показатель степени $n < 1,0$.

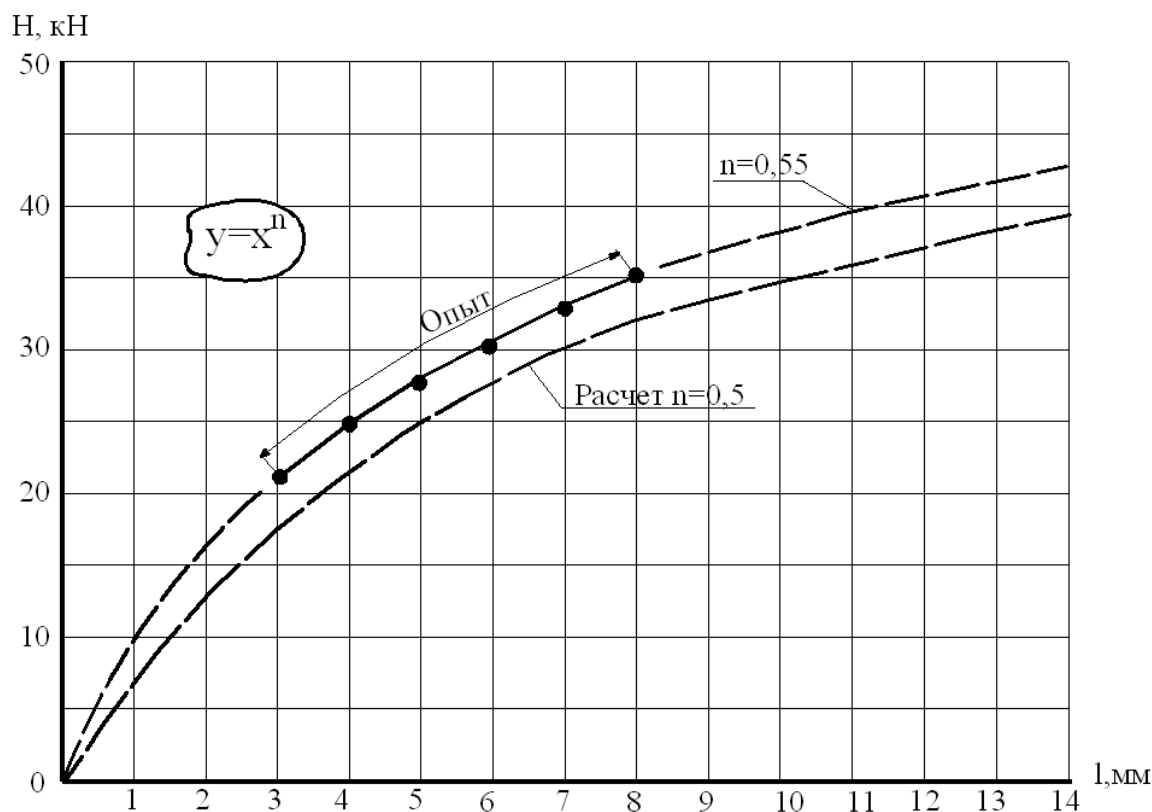


Рисунок 3. Совмещенные результаты опытной зависимости предельной нагрузки от длины сваи и расчетной зависимости с использованием параболической функции

Выполненные расчеты по формуле (4) показали, что наиболее тесная сходимость получена при значении показателя степени $n = 0,55$, в этом случае расчетным путем опытная графическая зависимость $N = f(l)$ может быть дополнена до сваи, длиной 12,0 м.

Для разработки расчетной номограммы более удобно рассматривать, выровненные графики параболической зависимости с использованием полулогарифмической сетки [11]. На рисунке 4 представлен выровненный график $N = f(l_0)$ для грунтовых условий основной опытной площадки № 2, а также площадок № 1 и № 3. При построении графиков принято, что каждую площадку характеризует среднеарифметическая величина сопротивления грунта под наконечником зонда q_c по всей рабочей длине сваи. За предельную величину горизонтальной нагрузки принимается нагрузка, при которой перемещение сваи в уровне поверхности грунта составляет $\Delta = 10$ мм.

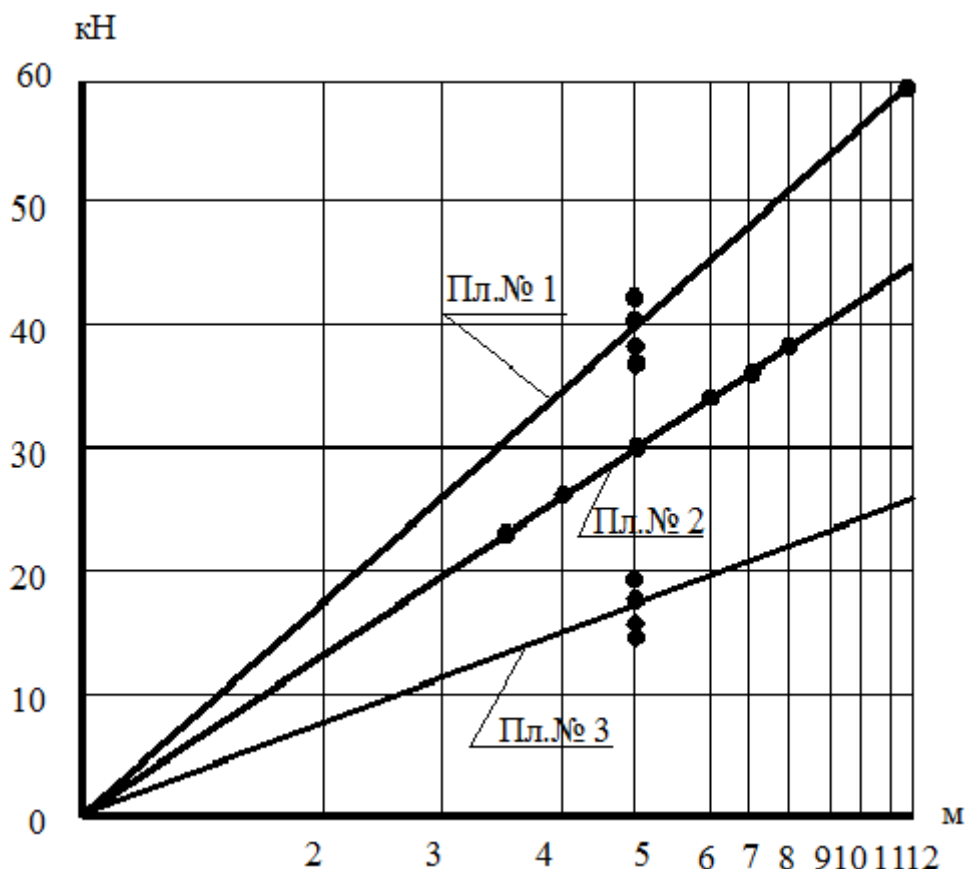


Рисунок 4. Выровненные графики результатов испытаний для грунтовых условий площадок № 1, № 2, № 3

Обработка данных, параллельных парных испытаний штампом и зондированием, полученных на трех опытных площадках позволила предложить номограмму с полулогарифмической сеткой для оценки величины предельной горизонтальной нагрузки [11]. На рисунке 5 приведены результаты расчета предельной нагрузки для случая: глубина погружения сваи $l_0 = 9,0$ м, средняя величина q_c по всей глубине погружения $q_c = 2,0$ мПа. Для данного случая величина предельной нагрузки $H_p = 44$ кН.

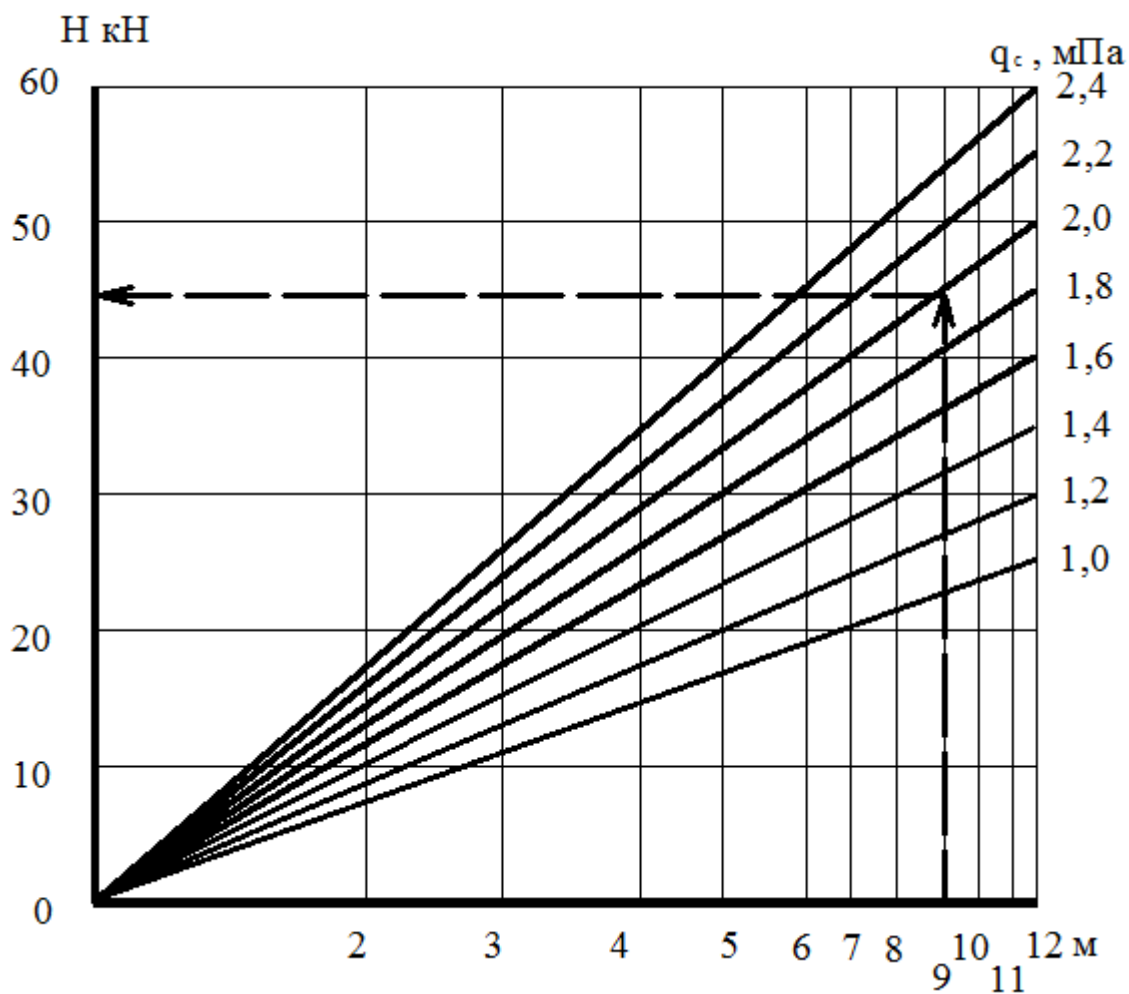


Рисунок 5. Номограмма для расчета экспресс-методом горизонтальной нагрузки на сваю по данным статического зондирования

По опыту проектирования и строительства свайных фундаментов при погружении забивных свай на глубину 12...13 м бездефектное погружение обеспечивается в грунтовом массиве при сплошном или послойном залегании связных дисперсных грунтов от тугопластичной до текучепластичной консистенции.

Выводы

Таким образом, предлагаемый экспресс-метод оценки предельной горизонтальной нагрузки по результатам статического зондирования грунтового массива, может иметь достаточно широкое применение при проектировании свайных фундаментов с глубиной погружения свай до 12...13 м. Например, для инженерно-геологических условий нефтяных

районов Тюменской области характерны строительные площадки с мощными слоями слабых глинистых грунтов, для которых, предлагаемый метод обеспечивает достаточно точные значения осредненных данных статического зондирования и предельной нагрузки на сваю.

Список используемых источников

1 Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов на современном этапе по материалам //Материалы междунар. симпозиума по статическому зондированию. Основания, фундаменты и механика грунтов.2012. №1.С. 28-32.

2 Рыжков И.Б., Исаев О.Н.Статическое зондирование грунтов. М.: Изд. АСВ, 2010. 405 с.

3 Трофименков Ю.Г., Воробков Л.Н. Полевые методы исследования строительных свойств грунтов. М.: Строиздат, 1981. 212 с.

4 Гольдфельд И.З., Смирнова Е.А. Графоаналитическая обработка результатов статических испытаний грунтов забивными сваями и зондированием // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2011. № 5. 16с.

5 Бахолдин Б.В., Труфанова Е.В. Некоторые сравнительные сопоставления расчета свай на горизонтальную нагрузку с экспериментальными данными. Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях. Материалы конф. БашНИИстрой. Уфа, 2006. С. 23-28.

6 Гончаров Б.В., Хабибуллин И.И., Галимнурова О.В. О работе предельной горизонтальной нагрузки на сваи-колонны по данным статического зондирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2012. № 1. 19 с.

7 Горбунов-Пасадов М.И. Маликова Т.А. Расчет конструкций на упругом основании. М.: Сройиздат, 1984. 635 с.

8 Сорочан Е.А., Трофименков Ю.Г. Справочник проектировщика. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М: Стройиздат, 1985. 479 с.

9 Гареева Н.Б., Рыжков И.Б. Об определении модуля деформации грунтов статическим зондированием. Сб. тр. НИИпромстрой Уфа, 1984. С. 94-99.

10 Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике М.: Наука, 1964. 608с.

11 Хованский Г.С. Основы номографии М.: Изд-во «Наука», 1976. 351 с.

References

1 Ryzhkov I.B., Isaev O.N. Statically sounding of soils at the present stage according to materials //Materials of the international symposium on static sounding. Foundations, foundations and soil mechanics. 2012. №1. S. 28-32. [in Russian].

2 Ryzhkov I.B., Isaev O.N. Statically sounding of soils. M.: Izd. ASV, 2010. 405 s. [in Russian].

3 Trofimenkov Yu.G., Vorobkov L.N. Field methods of soil investigation of construction properties of soils. M.: Stroizdat, 1981. 212 s. [in Russian].

4 Gol'dfel'd I.Z., Smirnova E.A. Graphoanalytical processing of results of static tests of soils by means of cone sounding and sounding // Foundations, foundations and soil mechanics. 2011. № 5. 16s. [in Russian].

5 Baholdin B.V., Trufanova E.V. Some comparative comparisons of calculation of soil strength on horizontal load with experimental data. Problems of soil mechanics and foundation engineering in complex soil conditions. Materials of the conference of BashNIISTROI. Ufa, 2006. S. 23-28. [in Russian].

6 Goncharov B.V., Habibullin I.I., Galimurova O.V. O rabote predel'noi gorizontal'noi nagruzki na svai-kolony po dannym staticheskogo zondirovaniya // Osnovaniya, fundamenty i mehanika gruntov. 2012. № 1. 19 s. [in Russian].

7 Gorbunov-Pasadov M.I. Malikova T.A. Raschet konstrukcii na uprugom osnovanii. M.: Stroiizdat, 1984. 635 s. [in Russian].

8 Sorochan E.A., Trofimenkov Yu.G. Spravochnik proektirovshika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya. M: Stroiizdat, 1985. 479 s. [in Russian].

9 Gareeva N.B., Ryzhkov I.B. Ob opredelenii modulya deformacii gruntov staticheskim zondirovaniiem. Sb. tr. NIIpromstroii Ufa, 1984. S.94-99. [in Russian].

10 Bronshtein I.N., Semendyaev K.A. Spravochnik po matematike M.: Nauka, 1964. 608s. [in Russian].

11 Hovanskii G.S. Osnovy nomografii M.: Izd-vo «Nauka», 1976. 351s. [in Russian].

Сведения об авторах

About the authors

Гончаров Б. В., д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства», ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

B. V. Goncharov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Highways and Technology of Construction Production“ FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation

Фаттахов М.М., д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства», ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

M. M. Fattakhov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Chair “Highways and Technology of Construction Production“ FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation

e-mail: asfugntu@yandex.ru

Галимнурова О. В., канд. техн. наук, доцент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

O.V. Galimnurova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Chair “Highways and Technology of Construction Production“ FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation

e-mail: galimnurova@mail.ru

Насыров Ш. Р., аспирант кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства» ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Российская Федерация

Sh. R. Nasyrov, Postgraduate Student of the Chair “Highways and Technology of Construction Production“ FSBEI HPE “Ufa State Petroleum Technological University”, Ufa, the Russian Federation

e-mail: ugntu_tsp@list.ru