

## **К ОСОБЕННОСТЯМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЗАБИВНЫХ СВАЙ**

Сравнение норм и стандартов различных стран [1] показывает наличие существенных отличий зависимости расчетных сопротивлений грунта в плоскости острия сваи ( $R$ ) и по боковой поверхности ( $R_f$ ) от различных факторов и особенностей их учета. Погрешность в определении несущей способности свай может составлять до 50% и более [1, 2].

Учитывая объемы применения свай, очевидно, что используемые методы определения их несущей способности имеют огромное значение. В связи с этим, совершенствование методики определения несущей способности свай на стадии проектирования является важнейшим резервом повышения эффективности строительства.

Достоверное определение несущей способности свай позволило бы избежать такой проблемы, как массовая недобивка свай до проектной отметки, т. е. появлением так называемых “свайных лесов”, обуславливающих перерасход материальных ресурсов и увеличение трудо- и энергозатрат при устройстве свайных фундаментов.

Как показывают исследования Никитенко М. И. [3, 4], на процесс погружения свай могут влиять многие факторы, процессы и явления, не учитываемые или учитываемые в неполной мере в практике проектирования.

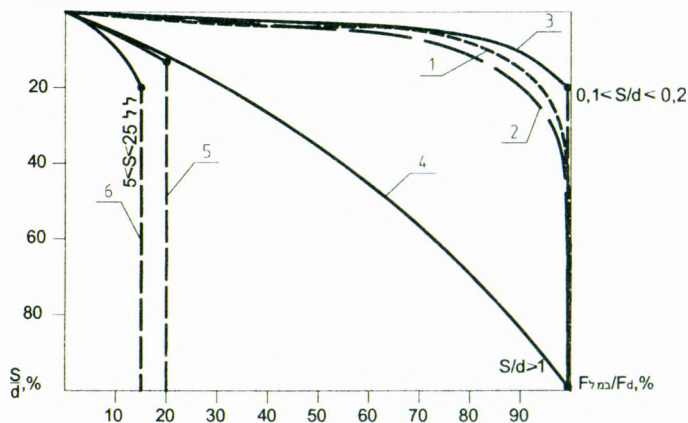
Основными из них являются:

- заклинивание свай, обуславливающее увеличение сопротивления крупно-обломочных и песчаных грунтов за счет дилатантного распора от разворота части и увеличение объема сдвигаемой зоны вдоль контакта со стволом сваи;
- проскальзывание свай, обусловленное уменьшением объема сдвига после заклинивания с контракцией и резким снижением сопротивления грунта;
- засасывание (самовольное погружение) свай в глинистых грунтах за счет возникновения вакуума под острием при подъеме свай от упругих деформаций самого ствола и окружающего его грунта, после прекращения их забивки;
- омыливание глинистого грунта, в связи с переходом его в текучее состояние за счет превращения связанной воды в свободную от динамических сотрясений, обуславливающее резкое снижение сопротивления сдвигу вдоль ствола;
- “пляска” свай, выражающаяся в чередовании резких погружений и их замедлений, и обусловленная либо наличием под пятой валунных грунтов, либо полумоклой свай;
- неоптимальное распределение ударного импульса вдоль ствола и острия сваи, обуславливающее большие затраты энергии на разрушение оголовка и преодоление сопротивлению, сжатую вдоль боковой поверхности при отклонении сваи за счет несоосного удара;
- ложный отказ в водонасыщенных слабофильтрующих мелких и особенно пылеватых песках, обусловленный большими упругими деформациями (подъемом свай), за счет кратковременного формирования под острием слабосжимаемого водяного или воздушно-водяного пузыря;
- ложный отказ, связанный с недостаточной мощностью или изношенностью сваебойного оборудования;

— недостоверность исходных данных о свойствах грунтов, их изменчивости в плане и по глубине и особенно в области ориентации оси нагрузки направлению анизотропии и плоскостям наслонения и расслоения инженерно-геологических элементов (ИГЭ).

Так как эти факторы, процессы и явления, в своем большинстве, на несущую способность буровых свай не влияют или влияют в незначительной степени, то нами, используя этот факт, сделана попытка разделения особенностей фактического формирования несущей способности забивных свай за счет расчетных сопротивлений грунтов в плоскости острия сваи ( $R_c$ ) и по боковой поверхности ( $R_f$ ), в зависимости от степени и характера их проявления в различных инженерно-геологических условиях.

Предварительно был проведен анализ особенностей мобилизации несущей способности буровых и забивных свай, при этом рассматривалась как общая мобилизация несущей способности, так и несущая способность под пятой (острием) свай и по их боковой поверхности (рис. 1).



1 и 2 – соответственно общей мобилизации несущей способности;  
3 и 4 – мобилизации под пятой (острием) свай; 5 и 6 – по их боковой поверхности  
Рисунок 1 – График мобилизации несущей способности забивных и буровых свай

Анализ графика позволяет отметить, что первоначально для буровых свай основная часть нагрузки воспринимается боковой поверхностью, а пята начинает воспринимать нагрузку только после исчерпания несущей способности боковой поверхностью, при этом «срыву» предшествуют большие деформации сдвига грунта ( $s/d \geq 1$ , где  $s$ -осадка,  $d$ -диаметр сваи) в зоне, примыкающей к боковой поверхности.

Максимальное значение сопротивления по боковой поверхности сваи характерно при осадках до 10 мм, причём до осадок  $s=0.03d$  зависимость  $\tau - s$  линейна, а силы трения зависят от диаметра сваи, как в слабо-, так и сильносжимаемых грунтах.

По результатам имеющихся экспериментальных [2] и табличных [5, 6] данных были составлены графики расчетных сопротивлений и расчетных нагрузок для буровых ( $\varnothing=0,403 - 0,46$  м) и забивных свай сечением  $0,3 \times 0,3$  м в песчаных и глинистых грунтах под пятой (острием) и по боковой поверхности (рис. 2), а так же график взаимосвязей расчетных нагрузок воспринимаемых пятой ( $F_{d\alpha}$ ) и

боковой поверхностью ( $F_{du}$ ) и несущей способности ( $N$ ), для условий равенства расчетных нагрузок  $F_{dv}$  и  $F_{du}$  буровой сваи ( $d=0.43$  м), от ее длины (рис. 3).

Используя данные испытаний буровых свай системы SFA и буровой компанией «Дельта» [4], были также построены графики абсолютных и относительных зависимостей расчетных сопротивлений буровых свай по боковым поверхностям и под пятой для различных грунтовых условий: многослойных неоднородных; относительно однородных с преобладанием связных грунтов, но заглубленных в песчаные; относительно однородные с преобладанием связных и заглубленных в плотные связные грунты; неоднородные с заглублением в глинистые грунты. Один из графиков приведен на рис. 4.

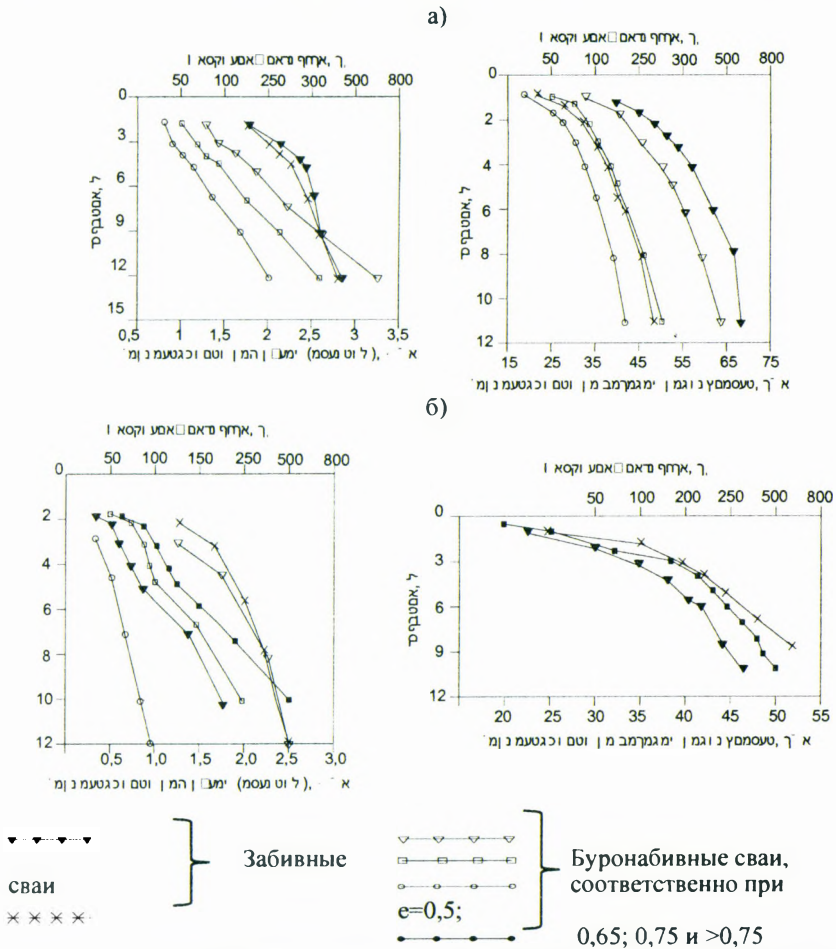


Рисунок 2 – Расчетные сопротивления и расчетные нагрузки на буронабивные ( $\varnothing=0.403-0.46$  м) и забивные сваи ( $0.3 \times 0.3$  м) в песчаных (а) и глинистых (б) грунтах под пятой (острием) и по боковой поверхности по табличным и экспериментальным данным [2, 5, 6] и авторов

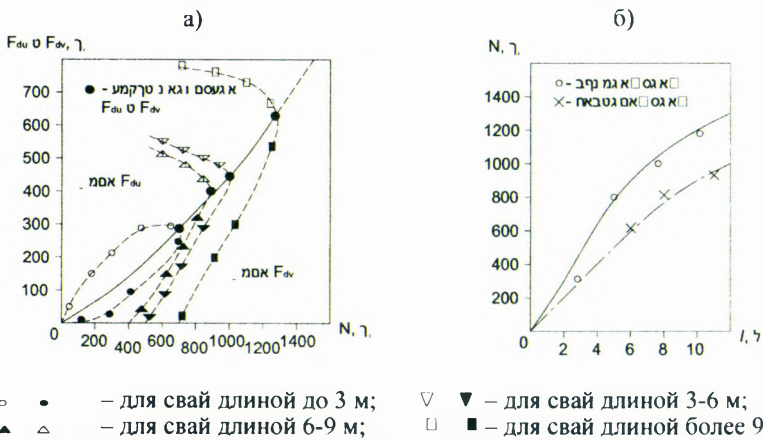


Рисунок 3 – Графики взаимосвязей расчетных нагрузок воспринимаемых пятой ( $F_{dv}$ ) и боковой поверхностью ( $F_{du}$ ) (а) и несущей способности от ее длины для условий равенства расчетных нагрузок  $F_{dv}$  и  $F_{du}$  буровой сваи  $\varnothing 0.43$  м и забивной сваи сечением  $0.3 \times 0.3$  м (б)

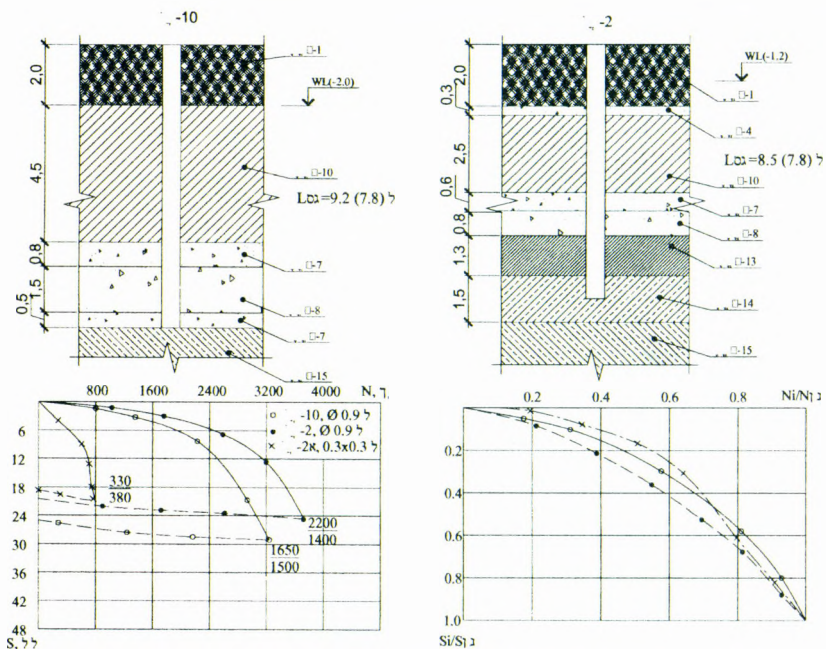


Рисунок 4 – Графики абсолютных и относительных зависимостей осадки от нагрузок и несущей способности буровых и забивных свай по результатам экспериментальных исследований (данные буровой компании «Дельта» и ОАО СУМ-96) в многослойных неоднородных грунтовых массивах



На эти графики (рис. 4) были наложены графики абсолютных и относительных зависимостей осадки от нагрузок и несущей способности по боковой поверхности и под острием забивных свай по данным экспериментальных исследований на площадках со схожими инженерно – геологическими условиями [5].

Следует отметить, что если приведённые абсолютные величины зависимостей осадок от нагрузок имеют достаточно большой разброс как для буровых, так и забивных свай, то относительные такого разброса практически не имеют.

Отсюда графики относительных зависимостей  $N_i / N_{np} = f(S_i / S_{np})$  позволяют с достаточной степенью достоверности проанализировать несущую способность основания забивных свай с помощью нелинейной экстраполяции, в случае достижения при испытании свай ограниченных значений нагрузок и соответствующих им осадок, менее соответствующих требованиям нормативных документов [6, 7].

Таблица 1 – Характеристики грунтов основания экспериментальных площадок для буровых и забивных свай

№ ИГЭ	Наименование грунта	$\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	$C_{II}$ , кПа	$C_I$ , кПа	$\Phi_{II}$ , град.	$\Phi_I$ , град.	E, МПа
для буровых свай							
1	Насыпной грунт	18,7	-	-	-	-	-
2	Песок пылеватый средней прочности	17,6	4,0	3,0	30	27	18
3	Песок пылеватый прочный	17,7	6,0	4,0	34	31	36
4	Песок мелкий средней прочности	17,8	2,0	1,0	32	29	25
7	Песок крупный средней прочности	18,9	1,0	0,7	39	35	25
8	Песок крупный гравелистый прочный	19,6	1,0	0,7	41	37	41
9	Суглинок пылеватый слабый	20,1	19	14	18	17	4,6
10	Суглинок пылеватый средней прочности	20,2	30	27	21	20	15
11	Суглинок пылеватый прочный	20,4	39	35	21	20	21
12	Суглинок пылеватый очень прочный	20,4	42	36	21	19	27
13	Супесь средней прочности	21,9	45	42	27	26	12
14	Супесь прочная	21,9	44	39	27	26	22
15	Супесь очень прочная	21,5	48	45	31	30	26
для забивных свай							
1	Насыпной грунт	18,6	-	-	-	-	-
2	Песок пылеватый средней прочности	18,4	3,0	2,5	28	25	23,1
3	Песок пылеватый прочный	18,1	5,8	4,5	32	29	34,0
4	Песок мелкий средней прочности	17,9	2,1	1,7	33	30	26,7
7	Песок крупный прочный	19,2	1,1	0,8	40	38	39,6
9	Суглинок пылеватый средней прочности	20,4	28	25	22	21	16,9
11	Суглинок известковистый прочный	19,1	8,0	6,2	17	16	9,8
12	Суглинок пылеватый очень прочный	20,3	38	35	22	20	28,2

Характеристики грунтов основания экспериментальных площадок, представлены в таблице 1.

Анализ характеристик позволяет отметить достаточную близость инженерно-геологических условий экспериментальных площадок.

Используя эти графики, с учётом ввода масштабного коэффициента линейных параметров буровых и забивных свай, были определены значения длин забивных свай, для условий равенства расчётных нагрузок  $F_{dv}$  и  $F_{du}$ , в зависимости от несущей способности  $N$ . График зависимости  $l=f(N)$  приведён на рис. 3б.

Анализ графика взаимосвязей ( $l=f(N)$ ) позволяет отметить, что он может быть описан зависимостью –

$$l(N) = 8 \cdot 10^{-4} \cdot N^{1,22} + 0,31. \quad (1)$$

Используя зависимость (1) и учитывая особенности формирования и мобилизации несущей способности буровых и забивных свай в песчаных и глинистых грунтах по боковой поверхности и под острием (пятой), были определены величины несущей способности и их соотношения для экспериментальных забивных свай по боковой поверхности и под острием для различных инженерно-геологических условий (рис. 4 и табл. 2 и 3).

Таблица 2 – Соотношение величин несущей способности забитых свай для различных геологических условий

№ свай	Длина свай, м	Инженерно-геологические особенности и условия экспериментальной площадки	Несущая способность по методу авторов, кН		Расчётная несущая способность, кН
			$F_{dv}$	$F_{du}$	
2а	7,8	Многослойный неоднородный грунтовый массив	380	330	710
6а	7,5	Относительно однородные с преобладанием песчаных грунтов	350	360	710
22а	7,8	Относительно однородные с преобладанием связных суглинистых грунтов	370	340	710
13а	7,9	Относительно однородные с заглублением в несвязные грунты	340	370	710
1а	5,2	Относительно однородные несвязные грунты с заглублением в связные суглинистые	360	340	710
12а	6,7	Многослойные неоднородные с значительным заглублением в связные глинистые	360	350	710
7а	7,2	Многослойный неоднородный грунтовой массив с заглублением в супеси	360	355	710

Таблица 3 – Величины расчётных сопротивлений грунтов по боковой поверхности и под острием забивных свай, определенные различными методами

№ свай	Значения $F_{dv}$ и $F_{du}$ , определенные по методу, кН								
	По расчётному методу авторов			По результатам статического зондирования			По формулам и графикам		
	$F_{dv}$	$F_{du}$	$F_{dv}/F_{du}$	$F_{dv}$	$F_{du}$	$F_{dv}/F_{du}$	$F_{dv}$	$F_{du}$	$F_{dv}/F_{du}$
2а	380	330	1,15	480	360	1,33	310	460	0,67
6а	350	360	0,97	510	420	1,21	480	290	1,66
22а	370	340	1,09	410	508	0,81	360	460	0,78
13а	340	370	0,92	396	439	0,90	420	390	1,08
1а	360	340	1,06	420	310	1,36	270	530	0,51
12а	360	350	1,03	450	206	2,19	310	550	0,56
7а	360	355	1,01	310	470	0,66	380	490	0,78

Анализ соотношения величин  $F_{dv} / F_{du}$  и их абсолютных значений позволяет отметить следующее:

— в многослойных неоднородных грунтовых массивах и при заглублении забивных свай в связные грунты несущая способность под остриём сваи практически всегда превышает несущую способность по боковой поверхности;

— величина заглубления сваи в несущий слой и вид грунта этого слоя во многом определяют соотношение величин  $F_{dv}/F_{du}$ , при этом в случае заглубления в несущий слой связных грунтов  $F_{dv}$  всегда больше  $F_{du}$ , независимо от длины сваи;

— однозначно выделить влияние неучитываемых или в неполной мере учитываемых в проектной практике факторов, процессов и явлений на несущую способность как по боковой поверхности и под острием сваи, так и суммарную расчетную несущую способность представляется затруднительным, что связано с их взаимоналожением, взаимозависимостью и взаимовлиянием;

— о тесном взаимовлиянии и особенно взаимозависимости влияния этих процессов, факторов и явлений говорит тот факт, что как для однородных связных грунтовых оснований, так и разнородных, при заглублении сваи в несущий слой связных грунтов, при относительно близких других условиях, соотношение  $F_{dv}/F_{du}$  может быть самым разнонаправленным и в разной степени: больше, меньше, равно больше или меньше многократно и т.д.;

— прогнозируемые при проектировании значения расчетных сопротивлений грунтов по результатам статического зондирования и по табличным данным, в реальных грунтовых условиях, могут быть как заниженными, так и завышенными, при этом различие может быть от 1,5 до 4,0 раз и более;

— все это определяет необходимость дальнейшего уточнения расчетных зависимостей для различных видов инженерно-геологических условий с учетом естественной неоднородности или изменчивости свойств грунтов, как за счет технологических особенностей устройства свай, так и других процессов, факторов и явлений, уже выявленных, либо тех которые могут быть выявлены в результате дальнейших исследований.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шведовский, П.В. Сравнительный анализ расчетных методов определения несущей способности висячих забивных свай / П.В. Шведовский, П.С. Пойта, А.Ю. Дроневич // Вестник БрГТУ. – 2011. – №1 (51): Строительство и архитектура. – С. 28-31.
2. Пойта, П.С. Оценка методов несущей способности забивных свай / П.С. Пойта, П.В. Шведовский // Вестник БрГТУ. – 2009. – №1(55): Строительство и архитектура. – С. 30-32.
3. Никитенко, М.И. Некоторые проблемы свайных фундаментов в геотехнической практике Беларуси / М.И. Никитенко, В.Ю. Журовский // Строительная наука и техника – Минск, 2008. - №4 (14). – С. 44-51.
4. Никитенко, М.И. Методы определения несущей способности буронабивных свай по технологии SFA / М.И. Никитенко, Н.А. Чернышев, Сани Маради // Строительная наука и техника – Минск, 2011. - №1 (34). – С. 36-47.
5. Объект УП «Геосервис» № 554/108-06. Результаты испытаний грунтов натурными сваями статической вдавливающей нагрузкой. – Минск – 2013. – 48 с.
6. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов: пособие П2-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Минск: Минстройархитектуры РБ, 2001, – 23 с.
7. Проектирование забивных свай: Справочник П4-2000 к СНБ 5.01.01-99. Минск: Минстройархитектуры РБ, 2001, – 68 с.