

Борозенец Леонид Михайлович,

*доцент, канд. техн. наук, доцент,
кафедра «Промышленное, гражданское строительство
и городское хозяйство»;*

Ушакова Екатерина Андреевна,

*аспирантка,
кафедра «Промышленное, гражданское строительство
и городское хозяйство»,
ФГБОУ ВО «Тольяттинский государственный университет»,
г. Тольятти, Самарская область, Россия*

НЕЛИНЕЙНО-ЛИНЕЙНАЯ НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ОСНОВАНИЙ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

Рассмотрена методология расчетного исследования несущей способности оснований буровых свай, показанная на примере опытной буронабивной сваи. Впервые построен теоретически обоснованный нелинейно-линейный расчетный график зависимости осадки от нагрузки $S = f(P)$ с возможной предельной нагрузкой на сваю, превышающей в 2,4 раза предельную нагрузку, регламентируемую стандартом.

Ключевые слова: теория, эксперимент, деформация, грунт, свая, основание, давление, сдвиг, равновесие, осадка, нагрузка.

Leonid M. Borozenez,

*Associate professor, PhD in technical sciences, associate professor
of the department «Industrial, civil engineering and urban economy »,*

Elena A. Ushakova,

*Graduate student
of the department «Industrial, civil engineering and urban economy»,
Togliatti State University,
Togliatti, Samara region, Russia*

LOAD CAPACITY REASON BORED PILES

The methodology of the calculated study of the bearing capacity of the bases of drilling piles, shown by the example of an experimental bored pile, is considered. For the first time, a theoretically grounded nonlinear-linear calculation graph of the sediment dependence on the load S

= $f(P)$ with a possible limit load on the pile exceeding the limit load regulated by the standard by 2.4 times is constructed.

Keywords: theory, experiment, deformation, soil, pile, foundation, pressure, shear, equilibrium, draft, load.

Введение

Экспериментально-теоретическим анализом графика зависимости осадки от нагрузки $S = f(P)$, построенного по данным полевого испытания сваи на статическую вертикальную осевую вдавливающую нагрузку по стандартной методике ГОСТ [1], выявлен нелинейный участок графика, ограниченного пределом фазы уплотнения грунта А, и последующий начальный отрезок линейного графика, в пределах фазы разуплотнения грунта Б. Полный линейный график получить экспериментально не представляется возможным в виду того, что поле объемных напряжений в окружающем сваю грунте от грузовой платформы упорной установки или анкерных свай объединяется с полем объемных напряжений от нагружаемой сваи и искажает объективные результаты. Проблема заключается в необходимости теоретического определения критических значений нагрузки на сваю и ее осадки, ограничивающих длину линейного графика и предел фазы разуплотнения грунта Б.

Показаны основы методологии расчетного определения несущей способности основания буронабивной сваи.

Отношение критических значений нагрузок теоретической на пределе линейного графика зависимости осадки от нагрузки и экспериментальной на пределе нелинейного графика, представит реальную возможность повышения несущей способности исследуемой буронабивной сваи до 2,4 раза при соответствующих осадках.

2. Нелинейная зависимость осадки от нагрузки буронабивной сваи

Теоретическое определение нелинейной зависимости осадки от нагрузки буронабивных свай осуществляется за счет научного обоснования, базирующегося на положениях теорий нелинейных напряжений и деформаций

упруго-пластически-вязко-жесткого взаимодействия грунтов оснований со сваями [2].

Полевые испытания буронабивной сваи, показанной на рис. 1, проведены статической вертикальной осевой вдавливающей нагрузкой. В геологическом строении площадки принимают участие суглинки, имеющие твердую и полутвёрдую консистенцию. По результатам испытания буронабивной сваи указанными нагрузками построен экспериментальный график зависимости осадки от нагрузки 3, показанный на рис. 2.

Критические и предельные нагрузки и несущая способность основания сваи в буронабивной скважине приведены в Таблице 1.

Таблица 1 – Результаты натурных испытаний буронабивной сваи

Марка	Нагрузка, кН		Осадка, мм	Несущая способность, кН
	Критическая	Предельная		
Б-1	90	87	5,8	87

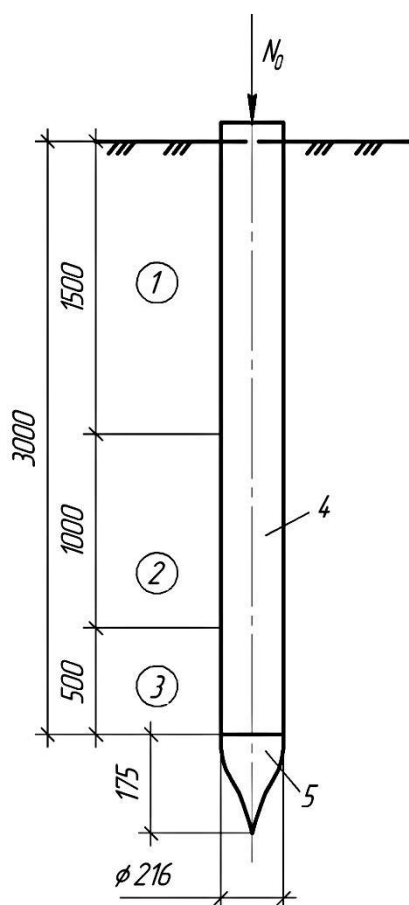


Рисунок 1 – Схема буронабивной сваи Б-1:
1, 2, 3 – слои грунтов; 4 – свая; 5 – тангенсоид вращения

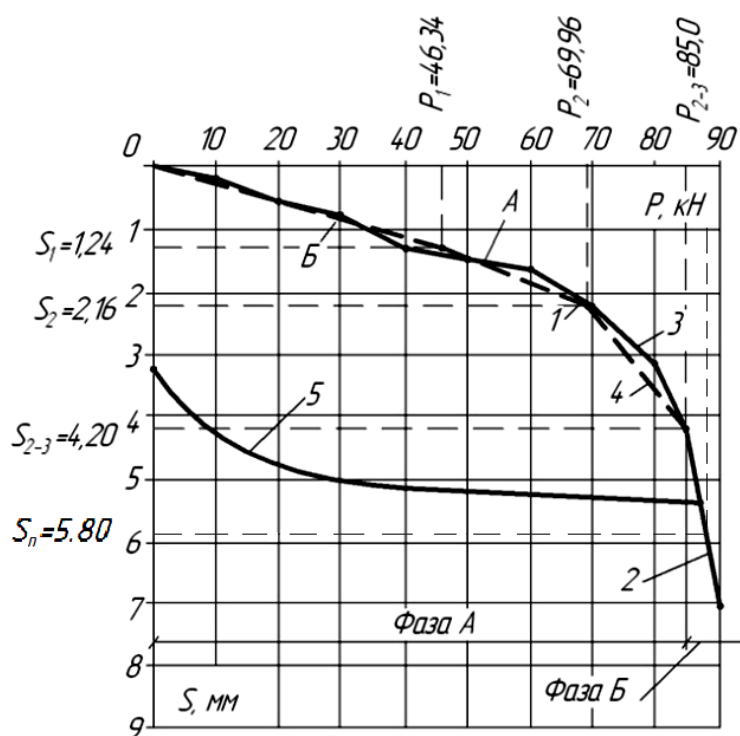


Рисунок 2 – Графики зависимости осадки от нагрузки:

1 – нелинейный график; 2 – линейный; 3 – экспериментальный; 4 – расчетный; 5 – разгрузки

Несущая способность основания сваи по задействованным в опыте трем зонам состояний предельных равновесий с учетом предварительного напряжения грунта от взаимодействия бетона со свайей по боковой поверхности ствола:

$$F_{dc1} = F_{d1} + F_{db} = 46,34 \text{ кН} \quad (1)$$

$$F_{dc2} = F_{d2} + F_{db} = 69,96 \text{ кН} \quad (2)$$

$$F_{dc3} = F_{d3} + F_{db} = 98,98 \text{ кН} \quad (3)$$

Методология расчета деформированного состояния трех зон предельных равновесий грунта рассматривается в основании тангенсоида вращения условного массивного фундамента буронабивной сваи. Научно обосновано, что в пределах начальной фазы уплотнения грунта *A*, включающей первую, вторую и половину третьей зон состояний предельных равновесий грунта, последний деформируется нелинейно в процессе сжимаемости его тангенсоидом вращения условного массивного фундамента буронабивной сваи.

Конечная сжимаемость грунта по границам каждой зоны:

$$S_1 = (1 - \nu^2)P_1 / d_y E_1^0 = 0,00124 \text{ м} = 1,24 \text{ мм} \quad (4)$$

$$S_2 = (1 - \nu^2)P_2 / d_y E_2^0 = 0,00216 \text{ м} = 2,16 \text{ мм} \quad (5)$$

$$S_3 = (1 - \nu^2)P_{3,1} / d_y E_{3,1}^0 = 0,0042 \text{ м} = 4,2 \text{ мм} \quad (6)$$

По результатам расчета нагрузок и осадок условного массивного фундамента буронабивной сваи Б-1 на рис. 2 построен расчетный график 4 нелинейной деформации основания сваи $S = f(P_n)$, совершенно соответствующий экспериментальному 3.

3. Линейная зависимость осадки от нагрузки буронабивной сваи

Впервые линейный вид графика зависимости осадки от нагрузки $S = f(P)$ открыт по его начальному отрезку, выявленному на экспериментальном графике 2, показанному на рис. 2, по его вектору, совпадающему с точкой значений критической нагрузки и осадки сваи пятой зоны состояния предельного равновесия, присущей исходной системе координат и ею ограниченному.

Получить достоверный линейный график экспериментально, как установлено, не представляется возможным, в связи с этим проводится настоящее теоретическое исследование. Линейный график зависимости осадки от нагрузки буронабивной сваи, ограниченный фазой допредельного разуплотнения грунта Б, включающей значения напряжений половины третьей, четвертой и пятой зон состояний предельных равновесий, является продолжением нелинейного графика зависимости осадки от нагрузки научно обоснованного в п. 1.

Определяются минимальные главные напряжения сжатия и касательные напряжения сопротивления сдвигу пяти зон состояний предельных равновесий грунта и последовательно суммарные значения напряжений по зонам.

По полученным суммарным значениям напряжений пяти зон состояний предельных равновесий определяются критические нагрузки на буронабивную сваю:

$$P_{1-3} = P_{3c} + P_{3T} + P_{1-2} = 66,68 \text{ кН} \quad (7)$$

$$P_{1-4} = P_{4c} + P_{4T} + P_{1-3} = 108,48 \text{ кН} \quad (8)$$

$$P_{1-5} = P_{5c} + P_{5T} + P_{1-4} = 171,82 \text{ кН} \quad (9)$$

Несущая способность основания сваи по пяти зонам состояний предельных равновесий с учетом предварительного напряжения грунта от взаимодействия бетона со свайей по боковой поверхности ствола:

$$F_{dc3} = F_{d3} + F_{db} = 98,98 \text{ кН} \quad (10)$$

$$F_{dc4} = F_{d4} + F_{db} = 140,78 \text{ кН} \quad (11)$$

$$F_{dc5} = F_{d5} + F_{db} = 204,1 \text{ кН} \quad (12)$$

Методология расчетного исследования деформированного состояния трех зон, с третьей по пятую, предельных равновесий грунта в основании тангенсоида вращения рассматривается с диаметром ствола буронабивной сваи. Научно обосновано, что в пределах последующей фазы разуплотнения грунта Б, включающей половину третьей, четвертую и пятую зоны состояний предельных равновесий грунта, последний деформируется линейно в процессе сжимаемости его тангенсоидом вращения ствола буронабивной сваи $d_c = 216$ мм.

Конечная сжимаемость грунта по границам каждой зоны:

$$S_3 = (1 - \nu^2)P_3 / d_c E_3^0 = 0,01128 \text{ м} = 11,28 \text{ мм} \quad (13)$$

$$S_4 = (1 - \nu^2)P_4 / d_c E_4^0 = 0,0337 \text{ м} = 33,7 \text{ мм} \quad (14)$$

$$S_5 = (1 - \nu^2)P_5 / d_c E_5^0 = 0,0683 \text{ м} = 68,3 \text{ мм} \quad (15)$$

4. Нелинейно-линейная зависимость осадки от нагрузки буронабивной сваи

Нелинейно-линейный график зависимости осадки от нагрузки $S = f(P)$, показанный на рис. 3, построен по результатам экспериментально-теоретических исследований, проведенных в п. 2 и п. 3 и показанных в Таблице 2.

Таблица 2 – Нагрузки P_n и осадки S_n

n, СПР	1	2	3.1	3	4	5
P_n , кН	46,34	69,96	98,98	98,98	140,78	204,10
S_n , мм	1,4	2,2	4,2	11,3	33,7	68,3
Фазы	А – нелинейный график			Б – линейный график		

Анализ нелинейно-линейного графика зависимости осадки от нагрузки показывает, что расчетная критическая нагрузка на пределе фазы Б равная $P_5 = 204,1$ кН при осадке сваи $S_5 = 68,3$ мм превосходит расчетную предельную нагрузку на пределе фазы А равную $P_{2-3} = 85,0$ кН при осадке сваи $S_{2-3} = 4,2$ мм практически соответствующую значению $P_3 = 87,0$ кН при осадке 5,8 мм, полученному экспериментально, в 2,4 раза, что представляет реальную возможность повышения несущей способности основания исследуемой буронабивной сваи.

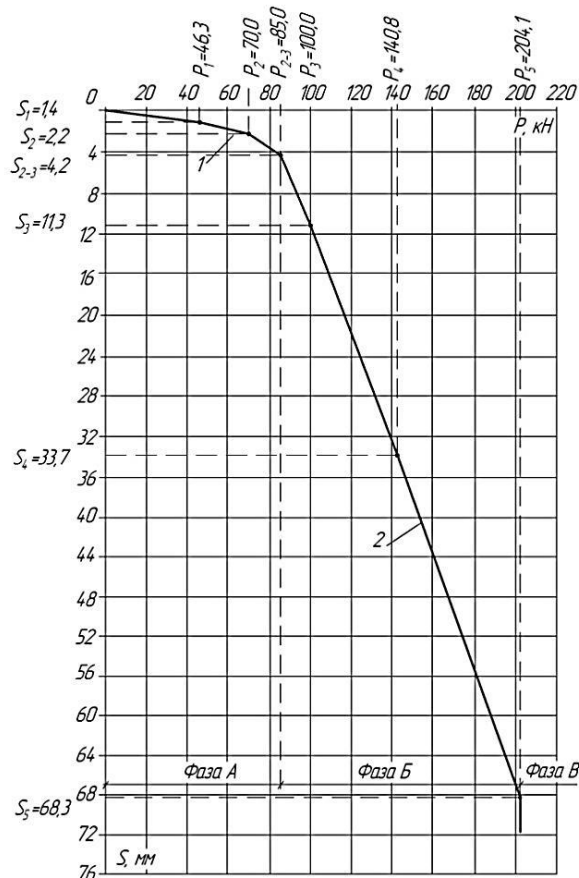


Рисунок 3 – График нелинейно-линейной зависимости осадки от нагрузки $S = f(P_n)$: 1 – нелинейный; 2 – линейный

Выводы

1. Показано, что нелинейная деформация грунтов основания буронабивной сваи включает пределы первой, второй и наполовину третьей зон состояний предельных равновесий, ограниченных фазой А их уплотнения.

2. Впервые открыто, что линейная деформация грунтов основания буронабивной сваи ограничивается пределами половины третьей, четвертой и пятой зон состояний предельных равновесий, заключенных в фазе Б их разуплотнения.

3. Выявлена реальная возможность повышения значения несущей способности нелинейно-линейной зависимости до 2,4 раза, определяемой теоретически, по сравнению с нелинейной зависимостью, определяемой экспериментально.

4. Впервые получен теоретически построенный расчетный график нелинейно-линейной зависимости осадки от нагрузки по объективности соответствующей экспериментально полученному нелинейному для буронабивной сваи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 5686-2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. – Москва, Стандартинформ, 2014. – С. 42.
2. Борозенец, Л.М. Геотехника фундаментостроения и грунтоустойчивости: Монография / Л.М. Борозенец. – Тольятти: Изд. ТГУ, 2015. – 588 с.