

УДК 624.154

DOI: 10.17213/mgvgif/2026-5-126-130

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ СВАЙ В ПРОБИТЫХ СКВАЖИНАХ С УШИРЕНИЕМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

В. С. Глухов, М. В. Панкина

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

Аннотация. Рассматривается методика оценки несущей способности свай в пробитых скважинах с уширением (СПСУ) по результатам динамического контроля «отказа» на этапе формирования уширения. Авторами предложено определять несущую способность уплотненного грунта под уширением с использованием модернизированной формулы Н. М. Герсеванова, учитывающей энергию удара трамбовки, массу системы и свойства грунта. Установлены зависимости несущей способности уширения от величины «отказа» для различных типов грунтов, представленные в виде графиков и таблиц. Рекомендовано выполнять динамический контроль для каждой сваи с корректировкой объема щебня, что позволяет обеспечить требуемую несущую способность на разных участках строительной площадки. Результаты апробированы при строительстве ряда объектов в Нижнем Новгороде и Тольятти.

Ключевые слова: сваи в пробитых скважинах с уширением, несущая способность, динамические испытания, динамический контроль

BEARING CAPACITY OF PILE IN PUNCHED HOLE WITH BROADENING BASED ON DYNAMIC TEST RESULTS

V. S. Glukhov, M. V. Pankina

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

Annotation. The article discusses a method for assessing the bearing capacity of pile in punched hole with broadening (PPB) based on dynamic control of the «refusal» at the stage of base formation. The authors propose determining the bearing capacity of compacted soil beneath the enlarged base using a modified N.M. Gersevanov formula that accounts for the rammer impact energy, system mass, and soil properties. Relationships between the bearing capacity of the enlarged base and the refusal value are established for various soil types, presented in graphs and tables. Dynamic control is recommended for each pile with adjustment of the crushed stone volume, ensuring the required bearing capacity across different construction site areas. The results have been validated during the construction of several facilities in Nizhny Novgorod and Tolyatti.

Keywords: pile in punched hole with broadening, bearing capacity, dynamic tests, dynamic control

Введение

При проектировании свайных фундаментов по мере назначения длины свай с учетом характера напластования грунтов площадки строительства наиболее важным вопросом считается определение несущей способности свай и подтверждение последней в процессе устройства свайного поля.

В современной практике существует четыре метода определения несущей способности свай: расчетный, по результатам статических или динамических испытаний, по результатам статического зондирования.

В настоящее время принято считать, что расчетный метод оценки несущей способности свай носит предварительный характер [1, 2]. Последняя в обязательном порядке должна уточняться по результатам полевых испытаний, вид которых назначается в зависимости от инженерно-геологических условий площадки строительства. Наиболее достоверным методом испытаний свай является статические, которые практически моделирует работу свай в качестве фундамента объекта.

Авторы настоящей работы считают, что весьма существенным в обеспечении надежности свай в пробитых скважин с уширением (СПСУ) является оценка несущей способности уширения на завершающем этапе формирования последнего. Предлагается в ряде грунтовых условий несущую способность указанных свай определять по результатам динамического контроля «отказа» уширения проектного объема.

Основная часть

В целом технология устройства СПСУ включает пробивку скважины и втрамбовывание в забой порциями щебня для формирования уширения проектного объема. Технология сопровождается процессом вытеснения грунта, что обуславливает образование вокруг свай уплотненной зоны грунтового основания с улучшенными строительными характеристиками по аналогии с принудительно погружаемыми сваями заводского изготовления. Однако, в отличие от свай заводского изготовления несущая способность СПСУ на 80 % – 90 % определяется сопротивлением уплотненного грунта под уширением свай [3].

Целью исследования является оценка несущей способности уплотненного под уширением грунта на этапе завершения формирования уширения. Предлагается оценивать указанную несущую способность по результатам динамического контроля «отказа» по методике динамических испытаний свай, погружаемых забивкой [4]. Динамический контроль заключается в сбрасывании трамбовки с заданной высоты порядка 1,0–1,5 м пять раз с фиксацией по вертикали начального и конечного положения трамбовки. Полученное среднее значение «отказа» S_a является определяющим параметром для оценки несущей способности F_u уплотненного грунта под уширением свай. Несущую способность свай в целом предлагается определять по формуле

$$F_d = F_u + F_f, \quad (1)$$

где F_f — несущая способность грунтового основания вдоль боковой поверхности свай, которая определяется расчетом или по результатам статического зондирования согласно СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты».

Несущую способность уширения F_u при динамическом контроле предлагается определять из уравнения работы сбрасывания трамбовки. При падении трамбовки с некоторой высоты энергия расходуется на упругие деформации системы «уширение-грунт». При динамических испытаниях для определения F_u используется модернизированная формула Н.М. Герсеева из СП 24.13330.2021:

$$F_u = \frac{\eta AM}{2} \sqrt{\frac{4E_d K_m}{\eta A S_a}}, \quad (2)$$

где η — эмпирический коэффициент, принимаемый равным 1000 кН/м²; A — площадь сечения в уровне острия трамбовки, в данном примере 0,2 м²; M — коэффициент, принимаемый по табл. 1 в зависимости от вида грунта под уширением с учетом процесса уплотнения при формировании последнего; E_d — расчетная энергия удара трамбовки (кН·м), определяемая из выражения

$$GH = 50 \cdot 1,5 = 75 \text{ кН·м},$$

где $G = 50$ кН — вес трамбовки; $H = 1,5$ м — высота сбрасывания; S_a — фактический остаточный «отказ»; K_m — коэффициент

$$K_m = \frac{m_1 + \varepsilon^2 m_2}{m_1 + m_2}, \quad (3)$$

здесь m_1 — масса трамбовки, в примере 5,0 т; m_2 — масса уширения из щебня, в примере 2,0 т; ε — коэффициент восстановления удара, $\varepsilon^2 = 0,2$ по СП 24.13330.2021.

Тогда

$$K_m = \frac{5,0 + 0,2 \cdot 2,0}{5,0 + 2,0} = 0,8.$$

Таблица 1. Значение коэффициента М

Уплотненный грунт под уширением	Коэффициент М
1. Пески мелкие средней плотности и супеси твердые	1,5
2. Пески пылеватые средней плотности и супеси тугопластичные, суглинки и глины твердые	1,4
3. Супеси пластичные, суглинки и глины полутвердые	1,3
4. Суглинки и глины тугопластичные	1,2

Исходя из формулы (1) найдено выражение для определения «отказа» S_a с учетом расчетной несущей способности F_u сваи и некоторых упрощений формулы (2)

$$S_a = \frac{E_d K_m \eta A M^2}{F_u^2}. \quad (4)$$

С учетом формул (2) и (4) выполнены расчеты для различных грунтов под уширением сваи при значениях коэффициентов $M = 1,2$, $M = 1,3$ и $M = 1,4$. Построены графики зависимости $F_u = f(S_a)$ (рис. 1), согласно которым следует определять требуемую величину «отказа» S_a при заданной несущей способности сваи, учитывая при этом вклад сопротивления грунта вдоль боковой поверхности сваи. Расчеты сведены в табл. 2.

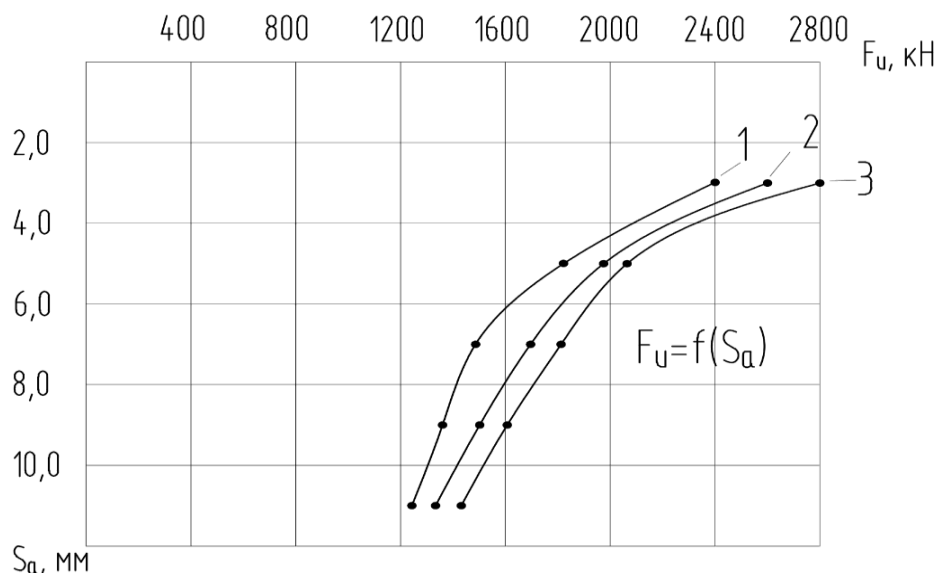


Рис. 1. Зависимость несущей способности сваи F_u от величины отказа S_a :
1 – при $M = 1,2$; 2 – $M = 1,3$; 3 – $M = 1,4$

Таблица 2. Несущая способность СПСУ по результатам динамического контроля

Значение коэффици- ента M	$M = 1,2$					$M = 1,3$					$M = 1,4$				
«Отказ» S_a	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0	3,0	5,0	7,0	9,0	11,0
Несущая способность уширения F_u	2400	1860	1572	1380	1252	2600	1950	1703	1501	1357	2800	2170	1833	1616	1462

Заключение

Для обеспечения требуемой несущей способности рекомендуется динамический контроль выполнять для каждой СПСУ. По результатам контроля — корректировать объем щебня при формировании уширения. Указанное позволяет привести все сваи к практически к одинаковым значениям несущей способности для различных участков площадки строительства.

Возможные погрешности обусловлены некоторым различием несущих способностей по боковой поверхности свай, доля которых в общей несущей способности, как отмечается выше, в пределах 20 %.

Указанный подход к оценке грунтов площадки апробирован при строительстве ряда объектов. При строительстве ТРЦ «Фантастика» в г. Нижний Новгород для обеспечения требуемой несущей способности для некоторых участков площадки строительства увеличивался объем щебня в 1,3–1,4 раза в ходе устройства СПСУ по сравнению с проектными значениями. На объектах в Автозаводском районе г. Тольятти грунты имеют достаточно близкую сходимости и отличие составляет в пределах 5 % – 10 %, что компенсируется увеличением объема щебня по результатам динамического контроля.

Список источников

1. Несущая способность свай при погружении вдавливанием / В. С. Глухов, О. В. Хрянина, Ю. Р. Янгуразов, К. О. Волков // Региональная архитектура и строительство. – 2024. – № 3 (60). – С. 66-73.
2. Глухов, В. С. Сравнение методов определения несущей способности свай в пробитых скважинах с уширением по результатам статических испытаний / В. С. Глухов, П. К. Гаврилов // Construction and Geotechnics. – 2023. – Т. 14. - № 1. – С. 5-18.
3. Глухов, В. С. Нелинейные деформации уплотненного грунтового основания под уширением свай в пробитых скважинах / В. С. Глухов, М. В. Панкина // Construction and Geotechnics. – 2023. – Т. 14. – № 1. – С. 19-28.
4. Глухов, В. С. Контролируемая надежность свайного фундамента при реконструкции дымовой трубы / В. С. Глухов, М. В. Глухова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2021. – № 1 (16). – С. 9-18.

© Глухов В. С., Панкина М. В., 2026