

УДК 624.131.38

**М.А. Акбуляков, Е.Н. Сычкина, А.Б. Пономарев**

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

**К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ОСНОВАНИЙ СВАЙНЫХ  
ФУНДАМЕНТОВ, СЛОЖЕННЫХ АРГИЛЛИТАМИ  
И ПЕСЧАНИКАМИ, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ  
СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Приводятся совместные результаты испытаний статического зондирования зондами I и II типа. Особое внимание уделено сопоставлению значений предельных сопротивлений забивных свай, основанием для которых служили нижнепермские песчаники и аргиллиты. Результаты свидетельствуют о том, что значения предельных сопротивлений забивной сваи, полученные по данным статического зондирования зондом II типа, оказываются точнее результатов статического зондирования зондом I типа.

**Ключевые слова:** аргиллит, песчаник, статическое зондирование, несущая способность сваи, предельное сопротивление сваи.

**Актуальность исследования.** Общеизвестным является тот факт, что стоимость и трудоемкость возведения фундаментов составляют значительную долю затрат в строительстве. Поэтому наибольшая эффективность фундамента возможна при полном использовании несущей способности грунтов основания вместе с обеспечением необходимой надежности сооружения. Успешное решение этой задачи зависит от наличия у проектировщика исчерпывающих данных об инженерно-геологических условиях строительной площадки. В этой связи большое распространение получают полевые методы исследований грунтов в условиях их естественного залегания, позволяющие исследовать такие грунты, структура которых существенно нарушается при отборе.

Из всех полевых методов исследований, разработанных в последние десятилетия, наибольшее применение получило статическое зондирование, обладающее рядом существенных преимуществ, к которым можно отнести его экологичность, возможность проведения изысканий в условиях плотной городской застройки и относительно невысокую стоимость. Кроме того, с появлением установок, погружающих зонд на значительную глубину, стало очевидным, что основ-

ные преимущества статического зондирования должны проявляться при решении задач свайного фундаментостроения.

Специалистами далеко не однозначно оцениваются роль и место статического зондирования в системе инженерно-геологических изысканий – от почти полного игнорирования до признания его одним из самых эффективных и значимых методов. Вероятно, истина находится где-то посередине.

Долгое время существовала проблема определения несущей способности свай по данным статического зондирования, поскольку сопротивления под нижним концом и на боковой поверхности у зонда и у свай отличались. Однако, благодаря большому количеству проведенных исследований, представления о работе свай и зондов в различных грунтах постепенно уточнялись и достоверность расчетов возрастала. Естественно, что при проектировании свайных фундаментов необходимо использовать в комплексе различные способы расчета несущей способности свай.

Следует помнить, что любой грунт имеет свою уникальную историю формирования, поэтому полученные эмпирические зависимости не являются универсальными даже в пределах одного типа грунта. Поэтому, несмотря на большое количество исследований, ряд вопросов по определению несущей способности по данным зондирования в специфических грунтах остается открытым [1]. К таким специфическим грунтам можно отнести нижнепермские песчаники и аргиллиты, которые и являются объектом данного исследования. Аргиллит представляет собой полускальный грунт глинистого состава, образовавшийся в результате окаменения дисперсных глинистых грунтов при уплотнении, дегидратации и кристаллизации коллоидов. Песчаник представляет собой однородный или слоистый агрегат обломочных зерен размером от 0,1 до 2 мм (песчинок), связанных каким-либо минеральным веществом (цементом) [2].

В связи с вышесказанным целью данного исследования являлось сопоставление значений предельных сопротивлений забивных свай, основанием для которых служили нижнепермские песчаники и аргиллиты, полученных по данным статического зондирования зондами I и II типов, и несущей способности свай, определенной расчетным способом согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Для достижения поставленной цели в ходе исследования были решены следующие задачи:

1) изучены существующие методы расчета частного значения предельного сопротивления забивной сваи по данным статического зондирования;

2) дана характеристика экспериментальной площадки в г. Перми;

3) описаны методики статического зондирования зондом I и II типа, а также методики расчета предельного сопротивления и несущей способности забивной сваи в точках зондирования;

4) полученные результаты расчета по данным статического зондирования сопоставлены между собой и с результатами расчета несущей способности свай по СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»;

5) на основании полученных результатов сделаны выводы.

**Описание экспериментальной площадки.** Статическое зондирование проводилось на экспериментальной площадке в пределах делювиального склона IV левобережной надпойменной террасы долины р. Камы. В административном отношении участок исследований расположен в пределах квартала, ограниченного улицами Мира, Комбайнеров, Заслонова, Теплогорская. На исследуемом участке изучаемые грунты шешминского горизонта уфимского яруса пермской системы перекрыты чехлом четвертичных аллювиальных глинистых грунтов. С поверхности повсеместно залегают техногенные насыпные грунты. Кровля изучаемых отложений на исследуемой площадке залегает на глубинах 7–12 м. Именно эта часть разреза нижнепермских аргиллитов и песчаников рассматривается в рамках данного исследования.

**Методика исследования.** Статическое зондирование установкой, оснащенной зондом II типа. Статическое зондирование проводилось сотрудниками ЦТИМС «МИКС» ПНИПУ мобильной малогабаритной установкой LWC-100XS фирмы Geomil Equipment (рис. 1), с механической системой вдавливания зонда, в соответствии с ГОСТ 19912 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием».

Тип применяемого зонда – II. Параметры зонда следующие: диаметр основания конуса – 35,7 мм, угол при вершине конуса – 60°, площадь конуса – 10 см<sup>2</sup>, наружный диаметр штанг – 36 мм, длина штанги – 1 м. Вдавливание зонда производилось с одновременным измерением сопротивления грунта под наконечником зонда ( $q_c$ ) и сопротивления грунта на боковой поверхности зонда ( $f_c$ ) автоматизированной фиксацией контролируемых параметров.



Рис. 1. Установка статического зондирования LWC-100XS

По данным инженерно-геологических разрезов близлежащих скважин изучаемые грунты были встречены в четырех точках зондирования: Сз2, Сз4, Сз5, Сз7. В точках Сз5, Сз7 на глубине 11–13 м были встречены аргиллиты выветрелые до рухляков с прослоями песчаников, в точках Сз2, Сз4 на глубине 13 м были встречены песчаники выветрелые (рис. 2). Расстояние от точек зондирования до ближайших скважин составляло от 1 до 15 м.

*Статическое зондирование установкой, оснащенной зондом I типа.* В 2012 г. на данной площадке сотрудниками ВерхнекамГИСИЗ проводилось статическое зондирование установкой, оснащенной зондом I типа [3, 4], в соответствии с ГОСТ 19912 «Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием». Статическое зондирование проводилось установкой НУСЗ-15 типа С-979 с механической системой вдавливания зонда. Тип применяемого зонда – I. Параметры зонда: диаметр основания конуса – 35,6 мм, угол при вершине конуса – 60°, наружный диаметр штанг – 36 мм. Вдавливание зонда производилось с одновременным измерением сопротивления грунта под наконечником зонда и общего сопротивления грунта зонду. Принципиальное отличие зонда I типа от зонда II типа заключается в том, что сопротивление грунта на боковой поверхности зонда отдельно не измеряется, а рассматривается как часть величины удельного сопротивления грунта под конусом зонда.



Для расчета были выбраны архивные данные по шести точкам зондирования в аргиллитах и шести точкам зондирования в песчаниках (см. рис. 2). Глубина погружения зонда в песчаниках варьировалась от 9,2 до 12,8 м, в аргиллитах – от 11,4 до 13,4 м.

*Методика расчета предельного сопротивления забивных свай по данным статического зондирования зондами II и I типа.* Расчет производился для свай сечением 30×30 см, опирающихся на песчаники и аргиллиты, согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». При расчете сваи принимались висячими, поскольку значения модуля деформации для нижнепермских аргиллитов и песчаников составляет меньше 50 МПа, что не позволяет охарактеризовать данные грунты как малосжимаемые [5, 6]. Частное значение предельного сопротивления забивной сваи в точке зондирования  $F_u$  (кН) определялось по формуле

$$F_u = R_s \cdot A + f \cdot h \cdot u, \quad (1)$$

где  $R_s$  – предельное сопротивление грунта под нижним концом сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, кПа;  $f$  – среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по данным зондирования в рассматриваемой точке, кПа;  $h$  – глубина погружения сваи от поверхности грунта около сваи, м;  $u$  – периметр поперечного сечения ствола сваи, м.

Предельное сопротивление грунта под нижним концом забивной сваи  $R_s$  (кПа) по данным зондирования в рассматриваемой точке рассчитывалось по формуле

$$R_s = \beta_1 \cdot q_s, \quad (2)$$

где  $\beta_1$  – коэффициент перехода от  $q_s$  к  $R_s$ , принимаемый по табл. 7.16 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» независимо от типа зонда;  $q_s$  – среднее значение сопротивления грунта, кПа, под наконечником зонда, полученное из опыта, на участке, расположенном в пределах одного диаметра  $d$  выше и четырех диаметров ниже отметки острия проектируемой сваи ( $d$  – диаметр круглого или сторона квадратного либо большая сторона прямоугольного сечения сваи, м).

Среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности забивной сваи  $f$  (кПа) по данным зондирования грунта в рассматриваемой точке рассчитывается по следующим формулам:

Среднее значение предельного сопротивления грунта на боковой поверхности забивной сваи  $f$  (кПа) по данным зондирования грунта в рассматриваемой точке рассчитывается по следующим формулам:

а) при применении зондов типа I:

$$f = \beta_2 \cdot f_s; \quad (3)$$

б) при применении зондов типа II:

$$f = \frac{\sum \beta_i \cdot f_{si} \cdot h_i}{h}, \quad (4)$$

где  $\beta_2$ ,  $\beta_i$  – коэффициенты, принимаемые по табл. 7.16 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»;  $f_s$  – среднее значение сопротивления грунта на боковой поверхности зонда, кПа, определяемое как частное от деления измеренного общего сопротивления грунта на боковой поверхности зонда на площадь его боковой поверхности в пределах от поверхности грунта в точке зондирования до уровня расположения нижнего конца сваи в выбранном несущем слое;  $f_{si}$  – среднее сопротивление  $i$ -го слоя грунта на боковой поверхности зонда, кПа;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, м.

Несущая способность по результатам испытаний свай статическим зондированием рассчитывалась согласно п. 7.3.8 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» с использованием полученных величин предельных сопротивлений грунта.

*Методика определения несущей способности свай расчетным способом.* Несущая способность  $F_d$ , кН, висячей забивной сваи, погружаемой без выемки грунта, работающей на сжимающую нагрузку, определялась как сумма расчетных сопротивлений грунтов основания под нижним концом сваи и на ее боковой поверхности по формуле

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + \sum \gamma_{cf} f_i h_i), \quad (5)$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы сваи в грунте, принимаемый равным 1;  $R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи, кПа, принимаемое по табл. 7.2 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»;  $A$  – площадь опирания на грунт сваи, м<sup>2</sup>, принимаемая по

площади поперечного сечения сваи брутто, или по площади поперечного сечения камуфлетного уширения по его наибольшему диаметру, или по площади сваи-оболочки нетто;  $u$  – наружный периметр поперечного сечения ствола сваи, м;  $f$  – расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа, принимаемое по табл. 7.3 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты»;  $h_i$  – толщина  $i$ -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м;  $\gamma_{cR}$ ,  $\gamma_{cf}$  – коэффициенты условий работы грунта соответственно под нижним концом и на боковой поверхности сваи, учитывающие влияние способа погружения сваи на расчетные сопротивления грунта и принимаемые по табл. 7.4 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты». Расчеты были произведены для точек зондирования, рассматриваемых в исследовании.

**Полученные результаты.** Статическое зондирование зондом II типа. Результаты расчета предельных сопротивлений забивных свай в аргиллитах и песчаниках по данным статического зондирования с использованием зонда II типа приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результаты расчета предельных сопротивлений забивных свай, опирающихся на аргиллиты и песчаники, по данным статического зондирования зондом II типа

Номер точки зондирования	Описание грунта	Глубина острия сваи, м	Сечение сваи, см	Лобовое сопротивление $q_s$ , кПа	Предельное лобовое сопротивление $R_s$ , кПа	Предельное боковое сопротивление $f$ , кПа	Предельное сопротивление сваи $F_u$ , кН
5	Аргиллит	13,0	30×30	2787,64	2182,72	44,05	883,61
7	с прослоями песчаника	11,0		4990,06	3248,53	42,74	856,54
2	Песчаник	13,0		3366,10	2517,84	47,23	963,44
4		13,0		4664,84	3125,44	41,33	876,41

Таким образом, среднее значение предельного сопротивления забивной сваи, опирающейся на аргиллит с прослоями песчаника, по данным статического зондирования с использованием зонда II типа

составило 870,07 кН. Среднее значение предельного сопротивления забивной сваи, опирающейся на песчаник, превысило значение, полученное для аргиллита, и составило 919,93 кН.

*Статическое зондирование зондом I типа.* Результаты расчета предельных сопротивлений забивных свай в аргиллитах и песчаниках по данным статического зондирования с использованием зонда I типа приведены в табл. 2, 3.

Т а б л и ц а 2

Результаты расчета предельных сопротивлений забивных свай, опирающихся на аргиллиты с прослоями песчаника, по данным статического зондирования зондом I типа

Номер точки зондирования	Описание грунта	Глубина острия сваи, м	Сечение сваи, м	Лобовое сопротивление $q_s$ , кПа	Предельное лобовое сопротивление $R_s$ , кПа	Предельное боковое сопротивление $f$ , кПа	Предельное сопротивление сваи $F_u$ , кН
4	Аргиллит с прослоями песчаника	13,2	30×30	23700,00	6233,10	11,45	717,62
5		13,4		24380,00	6241,28	10,58	709,05
7		11,4		21878,75	6147,93	13,10	704,20
10		13,0		11324,44	4801,56	27,85	806,48
13		13,0		11293,33	4788,37	30,47	840,48
14		13,0		15524,44	5355,93	21,84	775,57
Среднее значение							758,90

Т а б л и ц а 3

Результаты расчета предельных сопротивлений забивных свай, опирающихся на песчаники, по данным статического зондирования зондом I типа

Номер точки зондирования	Описание грунта	Глубина острия сваи, м	Сечение сваи, см	Лобовое сопротивление $q_s$ , кПа	Предельное лобовое сопротивление $R_s$ , кПа	Предельное боковое сопротивление $f$ , кПа	Предельное сопротивление сваи $F_u$ , кН
34	Песчаник	12,2	30×30	21653,33	6127,89	29,88	924,36
35		12,8		17136,00	5637,74	34,65	964,77
38		10,4		15708,33	5387,96	32,67	822,03
40		9,8		20625,00	6063,75	35,97	891,05
42		10,2		27000,00	6210,00	21,99	780,56
43		9,2		27000,00	6210,00	22,17	755,76
Среднее значение							856,42

Анализ результатов показывает, что среднее значение предельного сопротивления забивной сваи, опирающейся на аргиллит с прослоями песчаника, по данным статического зондирования с использованием зонда II типа составило 758,90 кН. Среднее значение предельного сопротивления забивной сваи, опирающейся на песчаник, превысило значение, полученное для аргиллита, и составило 856,42 кН.

В целом значения предельного сопротивления, полученные в результате зондирования установкой с зондом II типа, превысили значения, полученные при зондировании зондом I типа. Данное наблюдение относится и к песчаникам, и к аргиллитам.

Из табл. 1–3 видно, что средние значения предельных сопротивлений забивной сваи, полученные по результатам статического зондирования зондом II типа, превосходят средние значения предельных сопротивлений забивной сваи, полученные по результатам статического зондирования зондом I типа. Для аргиллитов это различие составляет около 13 %, а для песчаников – около 7 %.

Число испытаний статическим зондированием установкой, оснащенной зондом I типа, составило 6, что позволило произвести статистическую обработку и определить несущую способность сваи с использованием коэффициента надежности: для аргиллитов этот коэффициент был равен 1,07, для песчаников – 1,1. Несущая способность с учетом коэффициентов надежности составила для аргиллитов – 707,45 кН, для песчаников – 781,62 кН (табл. 4).

*Расчетная несущая способность свай.* По результатам расчета несущей способности висячих свай, опирающихся на аргиллиты с прослоями песчаника, в точках зондирования среднее значение несущей способности свай составило 1164,24 кН. Среднее значение несущей способности забивных висячих свай в песчаниках равно 1221,0 кН.

Сравнение предельных сопротивлений забивных свай, рассчитанных по результатам статического зондирования зондом I и II типов, с предельными сопротивлениями натуральных забивных свай представлено в табл. 4.

Сводная таблица результатов определения предельных сопротивлений забивных свай

Описание грунта под острием	Предельное сопротивление свай, кН		
	Зонд II типа	Зонд I типа	Натурная свая
Аргиллит с прослоями песчаника	870,074	758,899	520
Песчаник	919,926	856,419	660

Из табл. 4 видно, что значения предельных сопротивлений забивной свай, полученные по результатам статического зондирования, превосходят значения предельных сопротивлений натуральных забивных свай. При этом для результатов зондирования зондом II типа это различие больше, и значения, полученные при использовании зонда II типа, на 10–20 % больше значений, полученных при использовании зонда I типа.

**Выводы.** Авторами проанализированы данные статического зондирования нижнепермских песчаников и аргиллитов на экспериментальной площадке в г. Перми. Исследование показало, что результаты расчета несущей способности свай по данным статического зондирования в аргиллитах и песчаниках зондом II типа отличаются от данных зондирования зондом I типа. Средние значения предельных сопротивлений забивной свай, полученные по результатам статического зондирования зондом II типа, превосходят средние значения предельных сопротивлений забивной свай, полученные по результатам статического зондирования зондом I типа в аргиллитах на 13 %, а в песчаниках – на 7 %.

Полученные значения несущей способности свай по результатам статического зондирования не превышали значений несущей способности свай, рассчитанной согласно СП. Вместе с тем значения несущей способности свай по данным зондирования зондом II типа оказались более близкими к расчетным значениям несущей способности свай.

Необходимо дальнейшее проведение теоретических и экспериментальных исследований для выявления и уточнения корреляционных зависимостей между сопротивлением конусу зонда аргиллитов и песчаников и параметрами, используемыми при проектировании зда-

ний и сооружений. При этом следует помнить, что статическое зондирование наиболее эффективно при его использовании в комплексе с более точными методами изысканий, особенно при оценке несущей способности забивной сваи.

### **Библиографический список**

1. Пономарев А.Б., Сычкина Е.Н. Сопоставление механических свойств аргиллитов раннепермского возраста по результатам полевых и лабораторных испытаний // Вестник МГСУ. – 2013. – № 2. – С. 55–63.

2. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, Р.С. Зиангиров – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 1024 с.

3. Заключение по результатам дополнительных инженерно-геологических работ на объекте «Комплекс жилых домов по ул. Мира, 41 в Индустриальном районе г. Перми. 1-я очередь строительства (поз. 2)». Договор №1243/2 / ВерхнекамГИСИЗ. – Пермь, 2012.

4. Отчет об инженерно-геологических изысканиях на объекте «Жилой комплекс с помещениями общественного назначения, многофункциональным зданием по ул. Мира, 41 в Индустриальном районе г. Перми» (2-я очередь). Договор №1108/1 / ВерхнекамГИСИЗ. – Пермь, 2012.

5. Акбуляков М.А., Сычкина Е.Н., Пономарев А.Б. Методика определения предела прочности на одноосное сжатие полускальных грунтов (на примере аргиллитов г. Перми) // Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении: материалы всерос. науч.-техн. конф. – Новочеркасск: Изд-во ЮРГТУ (НПИ), 2012. – 532 с.

6. Заключение об инженерно-геологических работах на объекте «Торговый центр с кинотеатром по ул. Мира, 41 в Индустриальном районе г. Перми». Договор № 182 / ВерхнекамГИСИЗ. – Пермь, 2003.

**М.А. Akbuluyakov, E.N. Sychkina, A.B. Ponomarev**

**TO THE QUESTION OF CALCULATION OF PILE FOUNDATION  
BASE COMPOSED OF CLAYSTONES AND SANDSTONES  
USING RESULTS OF CONE PENETRATION TESTS**

In the article combined results of the pile test and CPT are given. Much attention is given to comparing the values of ultimate resistance of driven piles which are based on the Lower Permian sandstones and claystones. Received results shows us that the values of ultimate resistance of driven piles obtained by results of cone penetration tests are bigger than values of ultimate resistance of full-scale driven piles based on these soils.

**Keywords:** claystone, sandstone, cone penetration tests, full-scale pile, ultimate resistance of pile.

**Сведения об авторах**

**Акбуляков Михаил Алексеевич** (Пермь, Россия) – магистрант кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Сычкина Евгения Николаевна** (Пермь, Россия) – ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Пономарев Андрей Будимирович** (Пермь, Россия) – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: spstf@pstu.ru).

**About the authors**

**Akbuluyakov Mikhail Alekseevich** (Perm, Russia) – graduate student, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Sychkina Evgeniya Nikolaevna** (Perm, Russia) – Assistant Lecturer, Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

**Ponomarev Andrey Budimirovich** (Perm, Russia) – Doctor of Technics, Professor, Head of Department of Building production and geotechnics, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: spstf@pstu.ru).

Получено 03.03.2013