

УДК 624.154

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ, ОПИРАЮЩИХСЯ НА ВЫВЕТРЕЛЫЕ СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ

Пономарев А. Б., Сурсанов Д. Н.

ФГБОУ ВПО Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет

e-mail: sursanov.pnpu@mail.ru, spstf@pstu.ac.ru

**Аннотация.** Рассматривается проблема проектирования свайных фундаментов на верхнепермских полускальных грунтах. Анализируются инженерно-геологические условия одной из строительных площадок г. Перми, и с учетом требований СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» выполняются оценочные расчеты несущей способности свай. Результаты оценочных расчетов сравниваются с результатами статических испытаний свай, делаются выводы о возможности применения предложенной методики оценочных расчетов в инженерной практике.

**Ключевые слова:** верхнепермские отложения, полускальные породы, несущая способность, свай-стойки, статические испытания.

Повышение этажности зданий, активное использование подземного пространства, а также сложные инженерно-геологические условия – все это современные проблемы, которые стоят перед проектировщиками и строителями г. Перми. Одной из таких проблем является вопрос передачи нагрузки на верхнепермские отложения, представленные в основном аргиллитами, песчаниками и алевролитами. В центре города глубина залегания данных коренных пород колеблется от 10 до 30 м, а в удаленных районах, на возвышенных участках глубина залегания составляет менее 10 м. До недавнего времени, необходимости использовать коренные породы в качестве оснований фундаментов просто не существовало, поэтому детального изучения физико-механических свойств этих пород не проводилось [6]. В процессе проведения исследований была отмечена необходимость разработки отдельной методики определения физико-механических характеристик полускальных грунтов [2-5].

Однако проблема заключается не только в точном определении механических свойств полускальных грунтов, но и в самой методике проектирования фундаментов, опирающихся на подобные грунты основания [5-6]. Рассмотрим данную проблему на примере одной из площадок строительства г. Перми.

Рассматриваемая площадка расположена на склоне IV левобережной надпойменной террасы р. Камы. Рельеф участка относительно ровный с общим уклоном на северо-запад. Отметки поверхности составляют 142,50-150,2 м, в системе высот г. Перми. В геологическом строении участка участвуют техногенные отложения, четвертичные аллювиальные отложения и нижнепермские отложения. Техногенные отложения представлены насыпными грунтами, четвертичные отложения – глинами, суглинками, супесями и песками, а пермские отложения – аргиллитами и песчаниками с прослоями алевролита. Инженерно-геологический разрез площадки представлен на рисунке 1, а некоторые физико-механические свойства выделенных инженерно-геологических элементов в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические свойства инженерно-геологических элементов

№ ИГЭ	Наименование грунта	$\gamma_n$ , кН/м <sup>3</sup>	$E_{0,1-0,2}$ , кН/м <sup>2</sup>	$c_n$ , кН/м <sup>2</sup>	$\varphi_n$ , град
1	Суглинок коричневый от твердого до мягкопластичного	18,82	11,8	31,0	21
2	Супесь коричневая от твердой до пластичной	17,15	30,0	0,0	32
3	Песок мелкий желтовато-коричневый, малой степени водонасыщения	17,52	28,0	0,0	32
4	Глина красновато-коричневая, полутвердая	18,15	10,0	28,0	18
5	Песчаник серый, сильновыветрелый, сильнотрещиноватый,	19,11	12,8	11,0	33
6	Аргиллит сильновыветрелый, трещиноватый	19,31	11,6	30,0	26

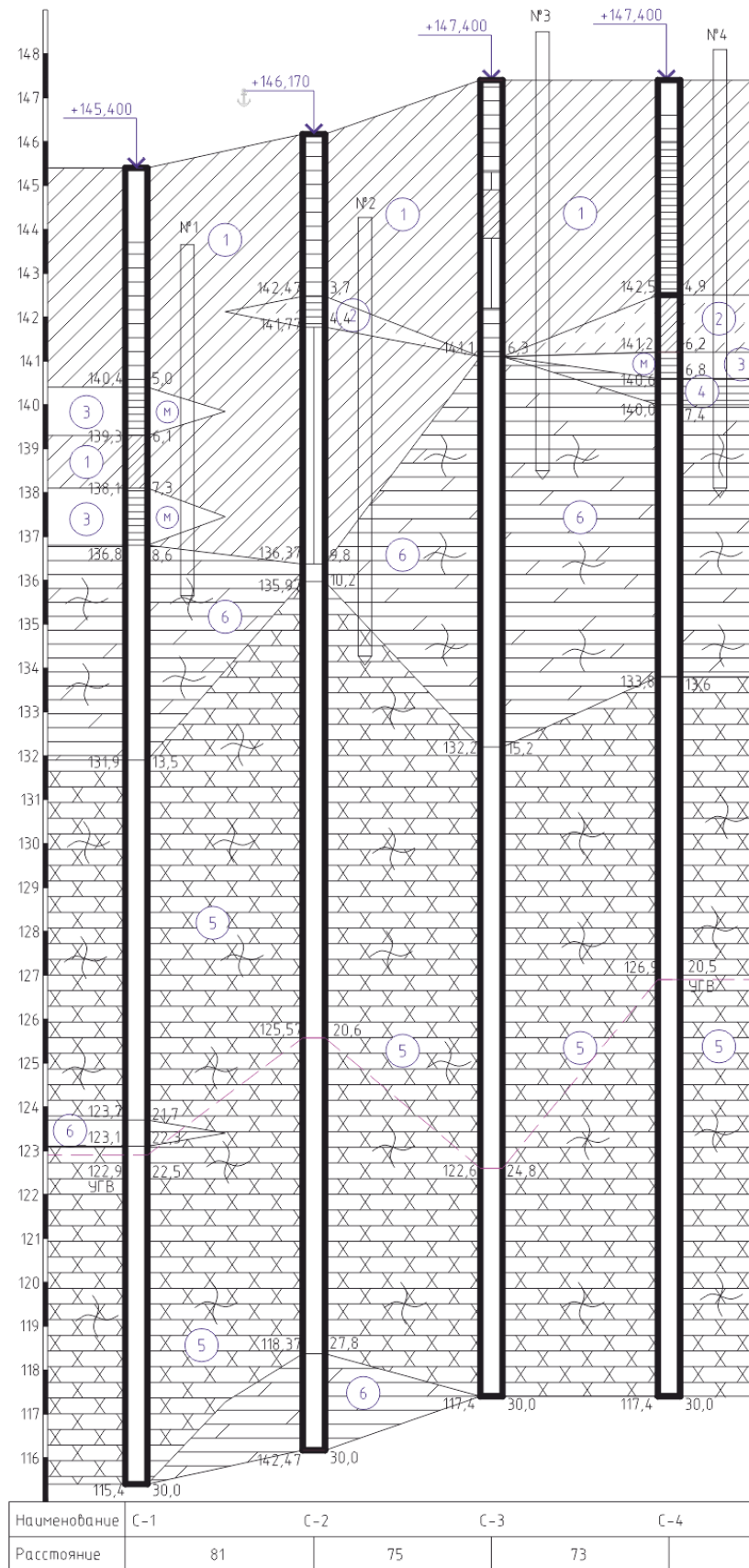


Рисунок 1. Инженерно-геологический разрез площадки испытаний

Как видно из представленных выше данных, коренные отложения вскрыты на глубине 6,3-9,8 м и представлены сильновыветрелыми и сильнотрещиноватыми породами. Уровень грунтовых вод зафиксирован на отметках 20,5-24,8 м.

Фундаменты проектируемого здания – свайные из свай заводского изготовления С100.30-9.У и С110.30-9.У, с монолитным железобетонным ростверком, нагрузка на сваю по проекту – 65 т. В выводах отчета по инженерно-геологическим изысканиям, выполненным на данной площадке, в качестве основания свайных фундаментов рекомендуется принять аргиллиты и песчаники.

Как известно, по характеру взаимодействия сваи с грунтом различают сваи-стойки и висячие сваи [7]. В зависимости от этого, в дальнейшем, определяется несущая способность сваи и, если требуется, расчет по деформациям.

Для начала определимся, какие сваи можно считать сваями-стойками. Согласно разделу п.6.2 СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» [7], свая считается стойкой при выполнении одного из следующих условий:

- а) свая любого вида опирается на скальные грунты;
- б) забивная свая опирается на скальные или малосжимаемые грунты (к малосжимаемым грунтам относятся крупнообломочные грунты с песчаным заполнителем средней плотности и плотным, а также глины твердой консистенции в водонасыщенном состоянии с модулем деформации  $E \geq 50$  МПа).

В данном случае, используются забивные сваи, опирающиеся на скальные (согласно классификации ГОСТ 25100-2011 [9] песчаники и аргиллиты. Следовательно, характер работы – свая-стойка.

Определение несущей способности забивной сваи, опирающейся на скальный грунт, определяется по известной формуле:

$$F_d = \gamma_c RA$$

где  $\gamma_c$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1, а  $R$  – расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки, принимаемое для забивных свай равным 20 МПа. По положениям нормативного документа получается, что несущая способность забивных свай-стоек зависит, только от площади поперечного сечения  $A$ . С учетом приведенных выше данных, несложно подсчитать несущую способность сваи сечением 300x300 мм, которая составит 1800 кН.

Однако, определить несущую способность свай по данной формуле для рассматриваемого случая нельзя. В конце раздела 7.2.1 СП [7] указано: «Для окончательных расчетов оснований сооружений I и II уровней ответственности, а также оснований, сложенных выветрелыми, размягчаемыми, со слабыми прослойками скальными грунтами, несущую способность сваи-стойки  $F_d$  следует принимать по результатам испытаний свай статической нагрузкой». Таким

образом, делая вывод о характере работы сваи, как сваи-стойки, нельзя рассчитать ее несущую способность по методике СП [7].

Попытаемся приблизительно оценить расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки. Для этого воспользуемся имеющейся формулой, учитывающей степень трещиноватости грунта, однако, предназначенной для других типов свай (набивных, буровых и свай-оболочек) и неветветрелых грунтов:

$$R = R_c K_s$$

где  $R_c$  – расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие скального грунта в водонасыщенном состоянии, кПа, которое определяется по результатам испытаний образцов отдельностей (монолитов) в лабораторных условиях;  $K_s$  – коэффициент, учитывающий снижение прочности ввиду трещиноватости скальных пород.

Так как данные по определению  $R_c$  в лабораторных условиях для данной площадки отсутствуют, в дальнейших расчетах используются средние табличные значения данных характеристик, указанные в СП 22.13330.2011 [8] «Основания зданий и сооружений». Результаты расчета для четырех скважин представлены в таблице 2.

Таблица 2. Расчетные сопротивления грунта  $R$  под нижним концом сваи-стойки с учетом степени трещиноватости  $K_s$ .

№ п/п	Наименование показателя	Номера испытаний			
		1	2	3	4
1	Грунты под острием сваи	Аргиллит	Песчаник	Аргиллит	Аргиллит
3	Степень трещиноватости	Средне-трещиноватый	Сильно-трещиноватый	Средне-трещиноватый	Средне-трещиноватый
4	Коэффициент снижения прочности $K_s$	0,32-0,60	0,15-0,32	0,32-0,60	0,32-0,60
5	Расчетное значение предела прочности на одноосное сжатие $R_c$ , МПа	12-20	30-50	12-20	12-20
6	Расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи-стойки $R$ , МПа, но не более 20 МПа	3,84-12,0	4,5-16,0	3,84-12,0	3,84-12,0
7	Среднее значение $R$ , МПа	7,92	10,25	7,92	7,92

Как видно из таблицы 2, значения расчетного сопротивления, определенные по СП [7, 8], существенно зависят от того, какое значение из интервала значений будет принято. В зависимости от принятого решения

минимальное и максимальное значение несущей способности свай могут отличаться более чем в 2 раза, что недопустимо при выполнении инженерных расчетов.

Кроме степени трещиноватости на величину  $R$  влияет степень выветрелости скального грунта  $K_{wr}$ , в зависимости от которой принимаются значения  $R_c$ . В таблице 3 приведены результаты расчета  $R$  с учетом коэффициента  $K_{wr}$  и табличных значений характеристик, грунтов указанных в Приложении К, СП 22.13330.2011 [7]

Таблица 3. Расчетные сопротивления грунта  $R$  под нижним концом свай-стойки с учетом степени выветрелости  $K_{wr}$ .

№ п/п	Наименование показателя	Номера испытаний			
		1	2	3	4
1	Разновидность элювия скальных грунтов по степени выветрелости	Сильновыветрелый	Сильновыветрелый до глины	Сильновыветрелый	Сильновыветрелый местами до глины
2	$R_c$ , с учетом степени выветрелости $K_{wr}$ и $K_s=1$ , МПа	2,4	4,9	2,4	2,4
3	$R$ , с учетом степени выветрелости $K_{wr}$ и коэффициента $K_s$ МПа	0,77-1,44	0,74-1,57	0,77-1,44	0,77-1,44
4	Среднее значение $R$ , с учетом степени выветрелости $K_{wr}$ и коэффициента $K_s$ МПа	1,11	1,16	1,11	1,11

Сравнивая значения таблиц 2 и 3 можно сказать, что наиболее существенным фактором, снижающим значение расчетного сопротивления грунта  $R$ , является степень выветрелости грунта  $K_{wr}$ . При учете обоих факторов – и степени выветрелости, и степени трещиноватости грунта, расчетное сопротивление грунта  $R$  значительно уменьшается, по сравнению с исходными табличными характеристиками.

В соответствии с требованиями нормативных документов для определения несущей способности на рассматриваемой площадке были проведены испытания свай статической нагрузкой в соответствии с ГОСТ 5686-94. Данные, полученные в результате статических испытаний свай, приведены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты испытаний свай статической нагрузкой

№ п/п	Наименование показателя	Номера испытаний			
		1	2	3	4
1	Длина свай	8	10	10	5
2	Абс. отм. скального грунта	136,8	136,4	141,1	140,0
3	Абс. отм. остря свай	135,65	134,274	138,48	138,1
4	Глубина заделки остря свай в скальный грунт	1,15	2,096	2,62	1,9
5	Сечение свай	30x30	30x30	30x30	30x30
6	Осадка свай по результатам испытаний, мм	2,17	2,33	3,37	3,10
7	Несущая способность свай-стойки $F_d$ испытаний, кН	1100	1200	1200	1200

Анализируя величину осадки свай, достигнутую несущую способность, а также длину свай в каждом испытании, можно утверждать, что характер работы свай – «свай-стойки», что подтверждает положения СП [7, 8]. Сравним расчетные сопротивления грунта  $R_{cm}$ , полученные в результате натурных испытаний, с результатами оценочных расчетов, в том числе с учетом коэффициента выветрелости  $K_{wr}$ , степени трещиноватости  $K_s$  и фактора заглубления свай в скальный грунт (см. таблицу 5).

Таблица 5. Расчетные сопротивления грунта R под нижним концом свай-стойки с учетом различных факторов.

№ п/п	Наименование показателя	Номера испытаний							
		1		2		3		4	
		а)*	б)**	а)	б)	а)	б)	а)	б)
1	$R$ без учета $K_s$ , МПа	16	40,5	40	120	16	48	16	48
2	$R$ с учетом $K_s$ , МПа	7,92	20,04	10,25	30,75	7,92	23,76	7,92	23,76
3	$R$ с учетом $K_{wr}$ , МПа	2,4	6,07	4,9	14,7	2,4	7,2	2,4	7,2
4	$R$ с учетом $K_s$ и $K_{wr}$ , МПа	1,11	2,81	1,16	3,48	1,11	3,33	1,11	3,33
6	$R_{cm}$ по результатам статических испытаний, МПа	12,2		13,3		13,3		13,3	

\* – без учета фактора заглубления;

\*\* – с учетом фактора заглубления.

На основании данных таблицы 5, а также по результатам выполненных расчетов и анализа положений нормативной документации можно сделать следующие выводы:

1. На данный момент корректной методики расчета несущей способности свай-стоек, опирающихся на выветрелые скальные грунты в существующих СП [7, 8] не представлено.

2. Определение расчетного сопротивления грунта  $R$  по результатам оценочных расчетов с учетом различных факторов дает широкий диапазон значений.

3. При определении  $R$  по табличным значениям СП [7, 8], учет степени выветрелости  $K_{wr}$  снижает расчетное сопротивление значительно больше, чем коэффициент трещиноватости  $K_s$ . В целом же, учет обоих этих коэффициентов дает существенно заниженную (более чем в 10 раз) величину, по сравнению с результатами испытаний  $R_{cm}$ .

4. Учет фактора заглубления в данном случае повышает значения расчетного сопротивления грунта в 2,5 – 3 раза. Соответственно, близость  $R_{cm}$  к тем или иным расчетным значения  $R$  будет полностью зависеть от учета этого фактора.

5. Оценочная методика определения расчетного сопротивления грунта  $R$  под нижним концом сваи-стойки в данном случае позволила определить интервалы значений, близкие к результатам натурных испытаний  $R_{cm}$ .

В заключение, авторам хотелось бы отметить, что значения  $R_{cm}$ , полученные по результатам статических испытаний, не являются предельными значениями расчетного сопротивления грунта, а означают некое частное значение расчетного сопротивления грунта, полученное при передаче на грунтовое основание данной нагрузки.

### Литература

1. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Сурсанов Д.Н. Некоторые результаты полевых испытаний свай статической вдавливающей нагрузкой // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции, посвящ. 100-лет. со дня рождения Б.И. Далматова: тр./Международ. конф. Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2011. С. 283-287.

2. Сычкина Е.Н., Ощепкова И.А. Проблемы лабораторного определения механических свойств полускальных нижнепермских грунтов г. Перми. // Вестник ПГТУ. Строительство и архитектура. (ПНИПУ). 2011. №1. С. 59-63.

3. Сычкина Е.Н., Ощепкова И.А. Анализ влияния степени водонасыщенности на деформационные характеристики полускальных грунтов. // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. (ПНИПУ). 2011. №2. С. 8-16.



4. Сычкина Е.Н., Пономарев А.Б. К вопросу определения начального напряженного состояния полускальных грунтов в лабораторных условиях. // Изв. высш.учеб. заведений. Строительство. (НГАСУ). 2012. №6. С. 135-141.

5. Сычкина Е.Н., Сурсанов Д.Н., Пономарев А.Б. Problems of building and designing on semi-rocky soils // Geotechnical engineering: New Horizons: proceedings of the 21st European Young Geotechnical Engineers conference. Rotterdam, September, 2011. Amsterdam,: IOS Press, 2011. P. 113-117.

6. Пономарев А.Б., Захаров А.В., Сурсанов Д.Н. К вопросу использования верхнепермских отложений в качестве грунтовых оснований. // Вестник ПНИПУ. Урбанистика.(ПНИПУ). 2011. №1. С. 74-80.

7. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. М., 2011. 90 с.

8. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. М., 2011.166 с.

9. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М., 2011. 19 с.

## **DETERMINATION OF END-BEARING PILE POINT RESISTANCE ON WEAK FISSURED SEMIROCKY SOILS**

A.B. Ponomaryov, D.N. Sursanov  
FSBEI HPE Perm National Research Polytechnic University  
e-mail: sursanov.pnipu@mail.ru, spstf@pstu.ac.ru

**Abstract.** Problem of building and designing on semi rocky soils (lower Permian soils) is problematic for many regions. In particular, in Russia the problems of building on semirocky soils are not given clearly enough in national construction norms and standards. Approximate calculation methods of end-bearing pile point resistance on weak fissured semi rocky soils, based on SP 24.13330.2011 "Pile foundations" are presented. Some results of static load test are confirms the approximate calculation method results. This method is recommended to use in engineering practice.

**Keywords:** lower Permian soils, semirocky soils, bearing capacity, compressive strength, static loading test, end-bearing pile.

### **References**

1. Ponomarev A.B., Zaharov A.V., Sursanov D.N. Nekotorye rezultaty polevyh ispytaniy svaj staticheskoy vdavlivajushhej nagruzkoj // Aktual'nye voprosy geotekhniki pri reshenii slozhnyh zadach novogo stroitel'stva i rekonstrukcii: materialy mezhdunar. nauch. konf. – Sankt-Peterburg: Izd-vo SPbGASU. 2011. S.283-287.
2. Sychkina E.N., Oshhepkova I.A. Problemy laboratornogo opredelenija mehanicheskikh svojstv poluskal'nyh nizhnepermskih gruntov g. Permi // Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura. 2011. № 1. S. 59-63.
3. Sychkina E.N., Oshhepkova I.A. Analiz vlijanija stepeni vodonasyshhennosti na deformacionnye harakteristiki poluskal'nyh gruntov // Vestnik PNIPU. Urbanistika 2012. №2. S. 8-16.
4. Sychkina E.N., Ponomarev A.B. K voprosu opredelenija nachal'nogo naprjazhennogo sostojanija poluskal'nyh gruntov v laboratornyh uslovijah // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Stroitel'stvo. 2012. №6. S. 74-80.
5. Sychkina E.N., Sursanov D.N., Ponomarev A.B. Problems of building and designing on semi-rocky soils // Geotechnical engineering: New Horizons: proc. of the 21st EYGEC. - Rotterdam: IOS Press. 2011. P. 113-117.
6. Ponomarev A.B., Zaharov A.V., Sursanov D.N. K voprosu ispol'zovanija verhnepermskih otlozhenij v kachestve gruntovyh osnovanij // Vestnik PNIPU. Urbanistika. 2011. №1. S. 74-80.
7. SP 24.13330.2011. Svajnye fundamenty. M., 2011. 90 s.

8. SP 22.13330.2011. Osnovaniya zdaniy i sooruzhenij. M., 2011. 166 s.
9. GOST 25100-2011. Grunty. Klassifikacija. – M., 2011. 19 s.
10. GOST 5686-94. Grunty. Metody polevyh ispytaniy svajami. – M., 1996. 49 s.

### **Сведения об авторах**

Пономарев А.Б., д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ, Пермь.

A.B. Ponomarev, dr tech. sci., professor, head of the department «Building production and geotechnics», PNRPU, Perm.

Сурсанов Д.Н., ассистент кафедры «Строительное производство и геотехника» ПНИПУ, Пермь.

D.N. Sursanov, assistant of the department «Building production and geotechnics», PNRPU, Perm.