

УДК 624.154:624.131.524

М. В. ЧЕТЧАЕВ, А. Н. ПУСЕНКОВА (ПСМ-21)

Научный руководитель – канд. техн. наук *В. В. ТАЛЕЦКИЙ*

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГРУНТОВ ОСНОВАНИЯ СВАЙ, ОПРЕДЕЛЕННОЙ РАЗНЫМИ МЕТОДАМИ

Рассмотрены варианты определения несущей способности грунта основания свай, защемлённых в грунте, методом статического зондирования и практическим методом объекта «Инженерные мероприятия по защите от паводка н. п. Плёсы Гомельского района, Гомельской области». Отмечается, что метод статического зондирования является наиболее приближенным к реальным данным.

Проектирование надежных и экономичных свайных фундаментов является одной из ключевых задач современного строительства. Главным параметром, определяющим надежность такого фундамента, выступает несущая способность грунтов основания свай [1]. Ошибка в ее определении в меньшую сторону ведет к неоправданному удорожанию строительства и перерасходу материалов, тогда как ее переоценка чревата авариями, деформациями и разрушением объектов. Ключевое противоречие заключается в принципиальном расхождении существующих методов оценки несущей способности грунтов. Табличные расчеты по нормам рассматривают грунт как идеализированную сплошную среду с постоянными характеристиками, тогда как метод статического зондирования показывает реальные характеристики грунтов. В результате одна и та же грунтовая толща для разных методов дает разные значения несущей способности грунта. Расхождение обусловлено не ошибкой измерения, а тем, что каждый метод закладывает свою физическую модель работы свай [2, 3].

Сущность статического метода определения несущей способности грунтов основания заключается в прямом измерении сопротивления грунта внедрению специального металлического зонда, что позволяет моделировать работу свай или фундамента в натурных условиях [4]. Процесс испытаний происходит следующим образом. С помощью специальной установки зонд с постоянной скоростью вдавливается в грунт. При этом используются зонды двух типов: тип I измеряет только лобовое сопротивление под конусом, а тип II, который является основным для детальных исследований, оснащен муфтой трения и позволяет одновременно измерять удельное сопротивление грунта под конусом и сопротивление грунта по боковой поверхности муфты трения [5]. После сбора данных полевых испытаний про-

изводится расчет. Сначала происходит определение среднего сопротивления грунта под конусом зонда. Для вычисления среднего сопротивления грунта под конусом зонда рассматривается только локальная зона в районе острия проектируемой сваи. Интервал глубин для осреднения принимается в пределах одного диаметра (стороны) сваи выше и четырех диаметров ниже отметки острия проектируемой сваи. Величина среднего сопротивления грунта под конусом зонда определяется по формуле [1, 2]:

$$q_s = \sum \frac{q_{si} z_i}{z},$$

где q_s – удельное сопротивление грунта погружению конуса при статическом зондировании, МПа.

Далее определяем расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи

$$R_s = \beta_{i1} q_s.$$

После определяем среднее сопротивление грунта по боковой поверхности

$$f_s = \sum \frac{f_{si} h_i}{h},$$

f_{si} – частное значение сопротивления грунта по боковой поверхности на i -м слое; h_i – толщина рассматриваемого i -го слоя; h – суммарная глубина погружения сваи.

По этому значению затем определяется расчетное сопротивление грунта по боковой поверхности сваи

$$R_{fs} = \beta_{i2} f_s,$$

где β_{i2} – коэффициент перехода.

Определяем частное значение предельных сопротивлений свай

$$R_{i,m} = R_s A + R_{fs} h U,$$

где A – площадь поперечного сечения сваи; U – периметр поперечного сечения сваи.

Определяем несущую способность грунтов

$$F_d = \frac{R_{i,m}}{\gamma_k},$$

где γ_k – коэффициент надежности.

Сущность табличного метода определения несущей способности грунтов основания заключается в использовании нормативных таблиц, в которых приведены усредненные значения сопротивления грунта под нижним концом сваи и по ее боковой поверхности, полученные на основе обобщения многолетнего опыта статических испытаний свай в различных грунто-

вых условиях [2]. Процесс расчета происходит следующим образом. По таблицам нормативных документов находят расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи в зависимости от вида грунта и глубины погружения острия сваи, а также расчетное сопротивление для каждого слоя грунта на боковой поверхности сваи в зависимости от глубины расположения середины слоя и характеристик грунта. При этом вся толща грунта, прорезаемая сваями, разбивается на слои толщиной не более двух метров, и для каждого слоя определяется свое значение по глубине, соответствующей середине этого слоя. Из таблиц определяем значения расчетного сопротивления каждого слоя грунта по боковой поверхности сваи и расчетное сопротивление грунта под нижним концом сваи [1, 3].

Несущая способность определяется по формуле

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{cr} RA + U \sum (\gamma_{cf} h_i R_{fi}) \right),$$

где $\gamma_c = 1,0$ – коэффициент условий работы сваи в грунте; h_i – толщина i -го однородного слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м; γ_{cr} , γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи (для свай, погружаемых забивкой $\gamma_{cr} = 1,0$; $\gamma_{cf} = 1,0$; для бурунабивных свай $\gamma_{cr} = 1,0$; $\gamma_{cf} = 0,8$).

Далее проведем расчет несущей способности грунтов основания свай для двух скважин по статическому и табличному методу и сравним результаты.

Скважина № 1

$h = 12,0$ м; $d = 0,3$ м; $A = 0,09$ м²; $U = 1,2$ м.

Скважина № 2

$h = 10,0$ м; $d = 0,3$ м; $A = 0,09$ м²; $U = 1,2$ м.

A – площадь поперечного сечения сваи, м²; U – наружный периметр поперечного сечения сваи, м; d – диаметр сечения сваи, м; h – глубина погружения сваи в грунт, м.

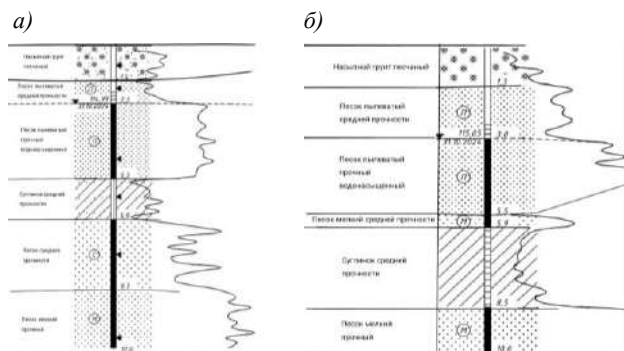


Рисунок 1 – Скважина № 1 (а), скважина № 2 (б)

Статический метод
Скважина № 1

$$q_s \sum \frac{q_{si} z_i}{z} = \frac{0,3 \cdot 4,7 + 1,2 \cdot 4,7}{1,5} = 4,7 \text{ МПа.}$$

$$R_s = \beta_{i1} q_s = 0,844 \cdot 4,7 = 3,967 \text{ МПа.}$$

$$f_s = \sum \frac{f_{si} h_i}{h} = \frac{281,4 + 59 \cdot 0,9 + 25 \cdot 3 + 381,6 + 37 \cdot 2,8 + 33 \cdot 2,3}{12} = 33,97 \text{ кПа.}$$

$$R_{fs} = \beta_{i2} f_s = 2,01 \cdot 33,97 = 68,3 \text{ кПа} = 0,0683 \text{ МПа.}$$

$$R_{i,m} = R_s A + R_{fs} h U = 3,967 \cdot 0,09 + 0,0683 \cdot 12 \cdot 1,2 = 1,341 \text{ МН} = 1341 \text{ кН.}$$

$$F_d = \frac{R_{i,m}}{\gamma_k} = \frac{1341}{1,25} = 1072,8 \text{ кН.}$$

Табличный метод

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{cr} R A + U \sum (\gamma_{cf} h_i R_{fi}) \right) = 1 \cdot (1 \cdot 4200 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot (49 \cdot 1,4 + \\ + 29,5 \cdot 0,9 + 52 \cdot 3 + 26 \cdot 1,6 + 59 \cdot 2,8 + 66,95 \cdot 2,3)) = 1116,2 \text{ кН.}$$

Увеличение несущей способности при расчете практическим методом относительно метода статического зондирования составило 43,4 кН, или около 4 %.
Скважина № 2

$$q_s \sum \frac{q_{si} z_i}{z} = \frac{0,3 \cdot 4,7 + 1,2 \cdot 4,7}{1,5} = 4,7 \text{ МПа.}$$

$$R_s = \beta_{i1} q_s = 0,844 \cdot 4,7 = 3,967 \text{ МПа.}$$

$$f_s = \sum \frac{f_{si} h_i}{h} = \frac{281,3 + 59 \cdot 1,7 + 25 \cdot 2,5 + 63 \cdot 0,4 + 38 \cdot 2,6 + 33 \cdot 1,5}{10} = 37 \text{ кПа.}$$

$$R_{fs} = \beta_{i2} f_s = 1,83 \cdot 37 = 67,7 \text{ кПа} = 0,0677 \text{ МПа.}$$

$$R_{i,m} = R_s A + R_{fs} h U = 3,967 \cdot 0,09 + 0,0677 \cdot 10 \cdot 1,2 = 1,169 \text{ МН} = 1169 \text{ кН.}$$

$$F_d = \frac{R_{i,m}}{\gamma_k} = \frac{1169}{1,25} = 935,2 \text{ кН.}$$

Табличный метод

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{cr} R A + U \sum (\gamma_{cf} h_i R_{fi}) \right) = 1 \cdot (1 \cdot 4050 \cdot 0,09 + 1,2 \cdot (48 \cdot 1,3 + \\ + 33,5 \cdot 1,7 + 48,75 \cdot 2,5 + 34 \cdot 0,4 + 20,6 \cdot 2,6 + 58,5 \cdot 1,5)) = 839,9 \text{ кН.}$$

Уменьшение несущей способности при расчете практическим методом относительно метода статического зондирования составило 95,3 кН, или около 10 %.

Расчеты несущей способности грунтов основания свай практическим методом и методом статического зондирования по двум скважинам показали, что большого систематического различия результатов ни одним из методов не выявлено. Расхождение между методами находится в пределах точности инженерно-геологических изысканий и допусков, принятых в механике грунтов. Таким образом, оба метода демонстрируют приемлемую сходимость и могут использоваться в проектной практике.

Однако определение несущей способности свай методом статического зондирования является наиболее приближенным к реальным данным, так как сопротивления грунтов по боковой поверхности и под концом сваи получены опытным путем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ТКП 45-5.01-256-2012. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Сваи забивные. Правила проектирования и устройства. – Введ. 01.07.2012. – Минск : Минстройархитектуры, 2013. – 141 с.

2 **Берлинов, М. В.** Расчет оснований и фундаментов : учеб. пособие для студ. строит. вузов / М. В. Берлинов, Б. А. Ягупов. – 4-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2013. – 272 с.

3 СП 5.01.03-2023. Свайные фундаменты : актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – Введ. 01.06.2023. – М. : Минстрой России, 2023.

4 **Рыжков, И. Б.** Статическое зондирование грунтов / И. Б. Рыжков, О. Н. Исаев // Энциклопедия «Башкортостан». – URL: <http://bbb.kcobr.ru/ru/articles/85708/> (дата обращения: 22.04.2026).

5 **Бушуев, В. В.** Статическое зондирование как основной метод полевых испытаний грунтов / В. В. Бушуев, А. А. Свертилов // Группа компаний «Информпроект». – URL: <https://mgk.we.iprosoft.ru/docs/1200046793/0/0> (дата обращения: 22.04.2026).

Получено 17.06.2026

ISSN 2227-1155. Сборник студенческих научных работ.
Вып. 31. Гомель, 2026

УДК 699.82

М. В. ЧЕТЧАЕВ, А. Н. ПУСЕНКОВА (ПСМ-21)

Научный руководитель – канд. техн. наук *А. А. ВАСИЛЬЕВ*

ИНЪЕКЦИОННАЯ ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ

Рассматриваются основные виды инъекционной гидроизоляции (ИГ), области и технология их применения. Показана значимость нормальной работы гидроизоляции строительных объектов. Приведена технологическая цепочка создания составов ИГ. Рассмотрены основные составы ИГ, их характеристики и область применения. Представлена технология производства работ по устройству ИГ. Показаны основные преимущества ИГ. Рассмотрены основные предприятия на территории Республики Беларусь, производящие ИГ.