

## **ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ МОДЕЛЕЙ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ В ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ.**

**Сороко Р. А**

(Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь)

### **Введение**

Инженерно-геологические условия строительной площадки оказывают первостепенное влияние на выбор конструктивной формы фундамента. Вместе с тем даже внутри одного типа грунтов различные его виды по-разному определяют механику взаимодействия фундамента с основанием.

Поскольку грунт является многокомпонентной средой, его нельзя отнести к одной определенной фазе вещества. Количественное соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз, историей естественного формирования и преобразования горных пород, климатическими особенностями, а также техногенной деятельностью человека обусловлены изменения грунтовых условий в пространстве.

За прошедшие 10-15 тысячелетий современного межледникового образовался голоценовый горизонт – верхние слои четвертичного периода, наиболее часто используемые в строительстве в качестве оснований, среды сооружений и строительного материала.

По данным М.А. Ситникова 84,1% территории Беларуси занимают моренные грунты (преимущественно Южное Белорусское Поозерье и Белорусская гряда). Лёссовидные отложения распространены преимущественно на территории Восточно-Белорусского плато. В Северное Белорусское Поозерье включены ленточные глины. В работах И.А. Голубева, который на протяжении нескольких лет осуществлял наблюдения за осадками зданий, построенных на моренных и песчаных грунтах, было сделано заключение о неполном использовании несущей способности моренных и песчаных грунтов.

До недавнего времени область применения традиционных свайных фундаментов диктовалась инженерно-геологическими услови-

ями, когда верхние слои или вся сжимаемая толща строительных оснований сложена слабыми грунтами.

### **Актуальность результатов исследований работы свайных фундаментов.**

Массовое строительство многоэтажных зданий и, соответственно, рост нагрузок на фундаменты является причиной поиска способов повышения несущей способности традиционных типов фундаментов и попыток разработки новых конструктивных решений.

Применение свайных фундаментов в данных, усложняющихся, условиях служит предпосылкой поиска способов повышения эффективности свайных фундаментов, одним из которых является изменение и уточнение расчётных моделей и методов расчёта с целью наиболее полного отражения работы реальной конструкции, что позволит более эффективно использовать прочностные и деформационные свойства основания оснований. [5]

Исследования Н.М. Дорошкевич, В.В. Знаменского и др. [1-4] показали, что приложенная к ростверку нагрузка передается на сваи неравномерно. Большая нагрузка приходится на сваи, наиболее удаленные от центра фундамента.

Несущая способность и осадка одиночной сваи, как правило, существенно отличается от осадки сваи в составе группы. Это связано, во-первых, с увеличением зоны уплотнения грунта в основании свай. Во вторых, при загрузении соседних свай изменяется напряженно-деформированное состояние основания. Зоны вертикальных напряжений накладываются друг на друга в уровне нижних концов свай, увеличивая их осадку. Горизонтальные напряжения в межсвайном пространстве приводят к увеличению сил трения грунта по боковым поверхностям свай. Взаимное влияние свай усиливается при увеличении их длины и уменьшении шага. [5]

Осадка сваи в группе может быть выше или ниже, чем у отдельно стоящей, и во многом определяется грунтовыми условиями, видом свай и интенсивностью нагружения фундамента. Экспериментально доказано, что в глинистых грунтах с увеличением количества свай в группе и уменьшением их шага сопротивление боковой поверхности снижается и большая нагрузка передается нижним концом сваи, мобилизация боковой поверхности сваи по глубине в работу на начальных этапах её нагружения происходит одновременно, а последовательно, начиная с верхней части ствола.

К настоящему времени накоплен большой объём данных теоретического и экспериментального характера об основных закономерностях и особенностях напряжённо-деформированного состояния свай в различных грунтовых условиях. Имеется ряд теоретических положений, подтверждённых экспериментами, по вопросу распределения напряжений вдоль боковых поверхностей свай и под их нижними концами. [1-4, 10-15]

Вопрос взаимодействия свай в группе недостаточно изучен в настоящее время и требует широкомасштабных модельных и натурных исследований. Экспериментальные данные, полученные до настоящего времени, дают неоднозначные, часто противоречивые результаты.

Имеющиеся данные по взаимодействию группы свай с основанием и их взаимовлиянию через грунт не нашли отражения в национальных ТНПА и требуют доработки. [6-8]

В частности, одним из сложных является вопрос о расчете несущей способности и деформативности набивных свай в сжимаемых грунтах. В силу особенности конструкции и устройства набивной сваи под воздействием вертикальной вдавливающей нагрузки до начала срыва по боковой поверхности под ее острием не образуется уплотненной зоны. По этой причине только после значительной осадки свай пята включается в работу и несущую способность ее основания можно включить в расчет несущей способности. [10-11].

#### **Экспериментальные исследования.**

Изучение теоретических и экспериментальных данных о работе одиночных свай, и свай, находящихся в составе свайных фундаментов, является важной частью проектирования.

Для исследования работы свайных фундаментов из буронабивных свай в глинистых грунтах на базе лаборатории кафедры «Геотехника и экология в строительстве» БНТУ были проведены серии испытаний моделей свайных фундаментов и моделей одиночных свай. Однако анализ литературных источников показывает, что задача полного моделирования в силу многофакторности при взаимодействии свайных конструкций, особенно в пространственных условиях, практически не поддается решению. Методика проведения испытаний должна обеспечивать получение необходимых экспериментальных данных, получения качественной и количественной картины взаимодействия свай в группе с основанием. При этом

закономерно возникает вопрос о правомерности интерпретации результатов маломасштабных опытов применительно к сваям натуральных размеров. Классический подход к этому вопросу предусматривает соблюдение условий моделирования как для всех элементов свай, так и для грунтовой среды. В этой связи было признано целесообразным воспользоваться высказанной в 50-е годы Д. Е. Польшиным идеей приближенного моделирования, опробованной практически в исследованиях Д.С. Кананяна, Ю.А. Соболевского, М.И. Никитенко, В.Н. Суходоева и др. [16]. Сущность подобного моделирования состоит в том, что грунтовые условия принимаются одинаковыми для модели и прототипа натуральных размеров, а в соответствующих масштабах изменяются только геометрические размеры фундаментных конструкций и их жесткостные параметры. При подобном подходе, всегда имеется возможность рассматривать любые модели в качестве натуральных, для которых можно выявить общие закономерности взаимодействия с грунтом.

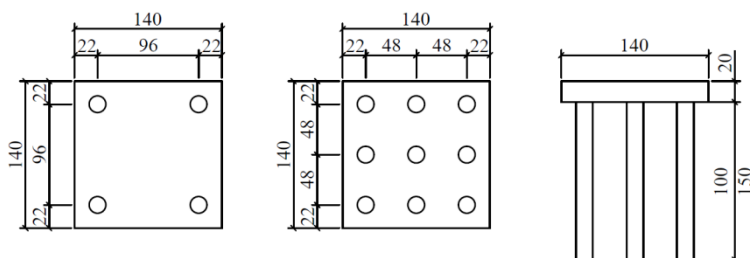


Рис. 1. Геометрические размеры модели свайного фундамента

В соответствии с разработанной программой экспериментальных исследований были предусмотрены испытания моделей свай и свайных фундаментов на вдавливание и исследование их взаимодействия с грунтом основания. Эксперименты проводились в грунтовой лотке, заполненной супесью с числом пластичности  $I_p=6,7$ . Нагрузки прикладывались рычажной системой с передаточным числом 1:10 ступенями по 5-10 кг. Осадки фиксировались индикаторами часового типа ИЧ-10. Исследовались модели цилиндрических свай диаметром 16 мм и длиной 100 и 150 мм, расположенных с шагом  $3d - 6d$  и осадка штампа-плиты размером 140×140 мм (рисунок 1).

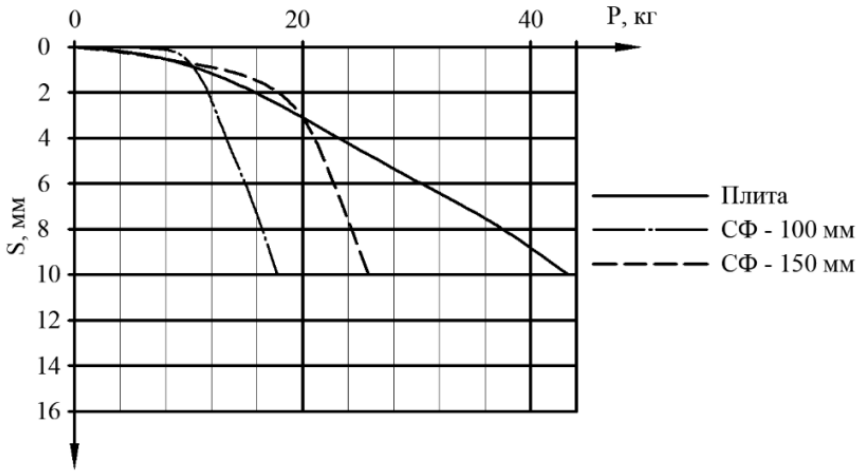


Рис. 2. Результаты испытания модели при шаге свай  $6d$

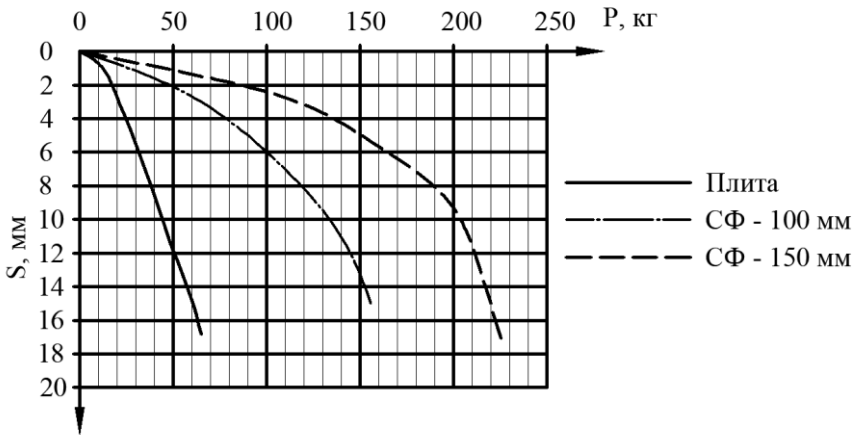


Рис. 3. Результаты испытания модели при шаге свай  $3d$

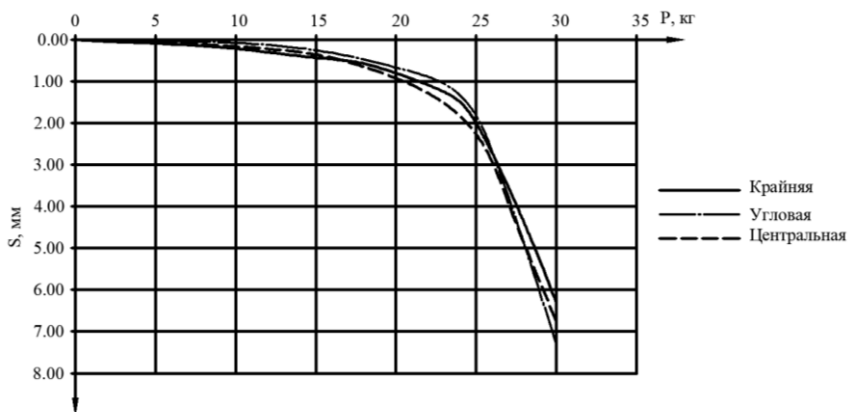


Рисунок 4 – Результаты испытания модели сваи длиной 100 мм

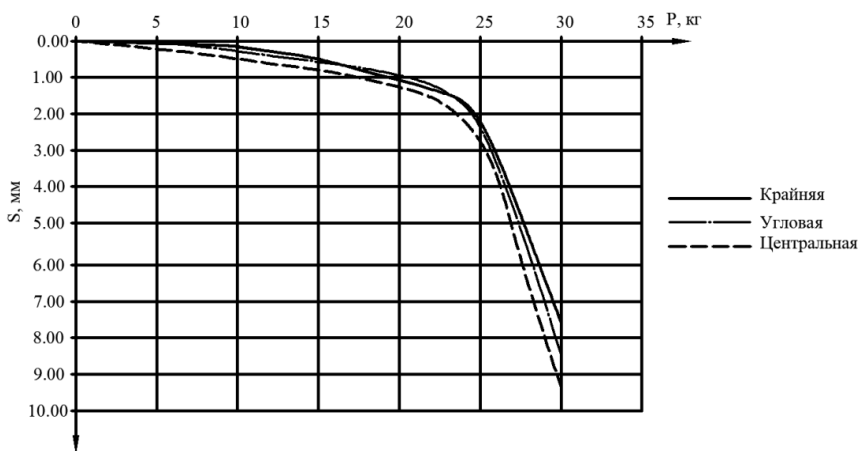


Рис. 5. Результаты испытания модели сваи длиной 150 мм

Зная нагрузку воспринимаемую сваями и их количество, легко найти усилие  $N_{сп}$ , приходящееся на 1 сваю в составе фундамента. Далее по графикам испытаний определяем осадку  $S_1$  одиночной сваи при нагрузке равной  $N_{сп}$ .

Полученные результаты были проанализированы и результаты сведены в таблицу. Для оценки взаимного влияния свай был определен коэффициент группового эффекта, выражающий снижение

жесткости сваи в группе, определяемый как отношение осадки свайного фундамента к осадке одиночной сваи при заданной нагрузке на сваю:

$$k_{гр} = \frac{S_{гр}}{S_1} \quad (1)$$

Таблица 1

Оценка взаимного влияния свай в группе

Шаг свай	Длина свай	Нагрузка на сваю, кг	Осадка сваи, мм		K <sub>гр</sub>
			Одиночной	В группе	
3d	L=100 мм	10	0,65	10,8	16,6
	L=150 мм	10	0,4	4,03	10,1
6d	L=100 мм	10	0,65	2,5	3,85
	L=150 мм	10	0,4	1,1	2,75

### Выводы

1. Жесткость сваи в составе свайного фундамента снижается в сравнении с жесткостью одиночной сваи.

2. Экспериментально доказано, что при увеличении шага свай взаимное влияние свай в группе уменьшается.

3. Учет взаимного влияния свай является одним из путей повышения несущей способности и увеличения эффективности свайных фундаментов.

4. Разработка методики определения осадки свайных фундаментов с учетом коэффициента группового эффекта позволит более эффективно использовать прочностные и деформационные свойства основания и оптимизировать затраты на устройство свайных фундаментов, а изучение теоретических и экспериментальных данных о работе одиночных свай, и свай, находящихся в составе свайных фундаментов, является важной частью проектирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям / Ф.К. Лапшин. – Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 152 с.
2. Козачок, Л.Д. Распределение напряжений в основании моделей кустов свай / Л.Д. Козачок // Республ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев : Будівельник, 1974. – Вып. 7 : Основания и фундаменты. – С. 47–51.
3. Грутман, М.С. Сопротивление сваи и свайного куста / М.С. Грутман // Республ. межвед. науч.-техн. сб. – Киев : Будівельник, 1975. – Вып. 8 : Основания и фундаменты. – С. 32–38.(25)
4. Бартоломей, А.А. Основы прогноза осадок свайных фундаментов / А.А. Бартоломей // Научно-технический журнал. Основания, фундаменты и механика грунтов. — 1995. — № 3. — С. 8–10.
5. Сернов, В.А. Совместная работа свай с ростверками в песчаных и глинистых грунтах : дис. канд. техн. Наук : 05.23.02 / В.А. Сернов. – Минск, 2010. – 181 л.
6. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Пособие к строительным нормам Республики Беларусь. Проектирование забивных и набивных свай по результатам зондирования грунтов : П2-2000 к СНБ 5.01.01-99. – Введ. 25.07.2000. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2001. – 26 с.
7. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Пособие к строительным нормам Республики Беларусь. Проектирование и устройство буронабивных свай : П13-01 к СНБ 5.01.01-99. – Введ. 22.02.01. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2002. – 46 с.
8. Грунты. Методы полевых испытаний сваями : ГОСТ 5686-96. – Введ. 01.01.96. – Минск : Межгос. науч.-технич. комиссия по стандартизации, технич. нормированию и сертификации в строительстве : НИИОСП им. Герсеванова, 1996. – 36 с.
9. Сороко, Р.А. Деформируемость основания здания на сплошной фундаментной плите, усиленной локальными сваями: дис. маг. техн. наук: 1-70.80.01 / Р.А. Сороко. – Минск, 2015. – 65 л.
10. Григорян А. А. Несущая способность и осадки буронабивных свай для высотного строительства на глинистых грунтах с учетом



нового существа разрушения основания. // Вестник МГСУ. 2012. № 4. С. 88-97

11. Твитко О. В. Бадёра Н. П. Анализ экспериментальных исследований работы фундаментов из группы взаимозависимых свай разной длины / О. В. Твитко, Н. П. Бадера – *Навукові праці ВНТУ*. – №3. – 2010. – С. 1-5.

12. Лапшин, Ф.К. Расчет свай по предельным состояниям / Ф.К. Лапшин. – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. – 152 с.

13. Теоретические основы механики деформирования и разрушения: монография / В. В. Леденев, В. Г. Однолько, З. Х. Нгуен. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. – 312 с.

14. Цымбал, С. И. Экспериментальное исследование напряженного состояния в основании модели висячей сваи / С. И. Цымбал; Республ. межвед. научн.-техн. сб.: Основания и фундаменты. – Киев: будівельник, 1973. – Вып. 6. – С. 134-141.

15. Исследование напряженно-деформированного состояния грунта в межсвайном пространстве: геотехника Беларуси: наука и практика: сб. статей Междунар. научно-технич. конф., Минск, 20-22 мая 2008 г. / БНТУ, В. А. Сернов; редкол.: М. И. Никитенко [и др.]. – Минск, 2008. – 239-246 с.

16. Канонян, А.С. Расчет оснований анкерных фундаментов методом приближенного моделирования / А.С. Канонян, М.И. Никитенко, Ю.А. Соболевский, В.Н. Суходоев // Энергетическое строительство. – 1978. – № 5 – С. 68-72.

УДК 624.138:691.3271

## **АРМОДРЕНИРУЮЩИЙ ЭФФЕКТ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ СУХОЙ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ**

**Тронда Т.В., Верховцова М.С., Гавриленко А.А.**  
*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь*

**Аннотация.** В данной статье приведены результаты лабораторного определения изменения влажности и консистенции глинистого