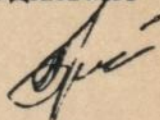


ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи
УДК.624.131

БАБЕНКО Владимир Александрович



**ТРУБЧАТЫЕ МИКРОСВАИ С УШИРЕНИЕМ
В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ИЗ ВТРАМБОВАННОГО
ЖЕСТКОГО МАТЕРИАЛА**

Специальность: 05.23.02 - Основания и фундаменты

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание уч. ной степени
кандидата технических наук

ДНЕПРОПЕТРОВСК
1996 г.

24.1

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00376162 (P)

40 36.208

**ПРИДНЕПРОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ**

На правах рукописи
УДК.624.131

БАБЕНКО Вадим Александрович

**ТРУБЧАТЫЕ МИКРОСВАИ С УШИРЕНИЕМ
В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ИЗ ВТРАМБОВАННОГО
ЖЕСТКОГО МАТЕРИАЛА**

Специальность: 05.23.02 - Основания и фундаменты

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

**Днепропетровск
1996 г.**

**ЛНБ им. В. Стефанька
Учен. АН Украины**

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре оснований и фундаментов Полтавского технического университета.

Научный руководитель - доктор технических наук, доцент
Зоценко Николай Леонидович.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор
Тимофеева Людмила Михайловна.
- кандидат технических наук, доцент
Алексеев Арнольд Иванович.

Ведущая организация

ОАО Проектно-исследовательский
институт "Укрепецстройпроект",
г. Днепропетровск

Защита диссертации состоится "26" декабря 1996 г. в 13 ч. сов на заседании специализированного ученого совета Д.03.07.05 при Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры (ПГАСА) по адресу: 320600, г. Днепропетровск, ул. Чернышевского, 24а, в зале заседаний ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ПГАСА.

Автореферат разослан "22" ноября 1996 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета,
кандидат технических наук, доцент



Карпухина А.К.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. С переходом на рыночные отношения большое внимание строительной отрасли уделяется реконструкции существующих зданий и сооружений. Настоящий период сопровождается резким подорожанием материалов, энергоресурсов, транспортных перевозок. При этом наибольшие трудности представляют работы по усилению оснований и фундаментов, особенно в сложных грунтовых условиях. Поэтому использование экономичных конструкций оснований и фундаментов, а также технологических схем представляется одним из более перспективных и экономически оправданных путей повышения эффективного использования материальных и финансовых ресурсов в строительстве.

Практика строительства показала, что при усилении оснований и фундаментов чаще всего применяются сборные микросваи (металлические или железобетонные), которые собирают при погружении из отдельных элементов. Эти сваи объединяются ростверками, на которые передается нагрузка от существующих конструкций. Такие сваи в большинстве случаев оказываются более экономичными по сравнению с другими известными методами (укрепление и армирование грунта, буронабивные и буронагнеточные сваи и др). Их можно считать и более надежными, так как при их устройстве достовернее контролируется качество работ.

Особенностью трубчатых микросвай является возможность в процессе их устройства втрамбовывать в основание щебень или жесткий бетон с целью устройства уширений. Этим значительно повышается их несущая способность.

Перечисленные положения обосновывают актуальность научных исследований, направленных на изучение совместной работы трубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала и основания, а также методов их устройства.

Цель работы. Настоящая диссертационная работа посвящена изучению закономерностей формирования уширения и зоны уплотнения грунта основания при втрамбовывании жесткого материала через трубчатую микро-

сваю, исследованию совместной работы с основанием таких микросвай, разработке предложений по методике расчета и внедрению в практику проектирования в строительстве результатов исследований.

Научная новизна результатов исследований состоит в следующем:

- разработано эффективное конструктивное решение трубчатой микросваи с уширением в нижней части из втрамбованного щебня и способ его реализации в условиях реконструируемых зданий и сооружений;

- установлены закономерности формирования параметров уширений и зон уплотненного грунта основания при втрамбовывании щебня через трубчатую микросваю; на основании этих исследований разработана методика определения их размеров для проектирования фундаментов из трубчатых микросвай с уширением в нижней части, из втрамбованного щебня;

- разработана методика составления исходных данных к решению упруго-пластической задачи механики грунтов для оценки напряженно-деформированного состояния системы "микросвая с уширением - основание" методом конечных элементов, отличающаяся тем, что с использованием метода пенетрации и уравнений взаимосвязи между физическими и механическими характеристиками грунтов необходимые данные задаются в каждом конечном элементе с учётом уплотнения грунта дифференцированно с удалением от сваи, возможности его искусственного замачивания, разуплотнения при выпирании и др.

Практическое значение и внедрение работы состоит в разработке новой конструкции металлической трубчатой микросваи с уширением в нижней части из втрамбованного щебня, предложений по проектированию и строительству таких фундаментов, внедрению результатов исследований в практику строительства, что позволило сократить расход материалов и энергоресурсов при реконструкции трех зданий на 60% по сравнению с использованием трубчатых микросвай без уширений.

На защиту выносятся:

- новое конструктивное решение трубчатой микросваи, отличающееся тем, что с целью повышения её несущей способности через полость микросваи втрамбовывается щебень, в результате чего в нижней её части формируются жесткое уширение и зона уплотненного грунта основания;

- результаты экспериментальных исследований несущей способности таких микросвай в зависимости от объема щебня в уширении и замачивания просадочного грунта;

- способ определения размеров уширений и уплотненных зон грунта основания с учетом объема втрамбованного щебня, его уплотнения, размеров фракций щебня, степени водонасыщения грунта основания;

- методика составления исходных данных к решению задачи о напряженно-деформируемом состоянии системы "микросвая с уширением - основание" методом конечных элементов;

- особенности проектирования и строительства фундаментов из трубчатых микросвай с уширением из втрамбованного щебня, результаты наблюдений за осадками зданий на таких фундаментах, методика подсчета энергоресурсов на их изготовление.

А п р о б а ц и я р а б о т ы . Основные положения исследований докладывались на ряде научно-технических конференциях :

1. Республиканская научно-техническая конференция "Эффективные фундаменты, сооружаемые без выемки грунта". Полтава, октябрь, 1991 год.

2. Третья международная конференция "Проблемы свайного фундаментостроения". Минск, октябрь, 1992 год.

3. Международный симпозиум "Реконструкция Санкт-Петербург-2005". Санкт-Петербург, ноябрь, 1992 год.

4. 43 - 47 научные конференции профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов Полтавского технического университета. Полтава, 1992-1996 г.г.

5. Вторая Украинская научно-техническая конференция по механике грунтов и фундаментостроению. Полтава, октябрь, 1995 год.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 5 печатных работ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, выводов, списка литературы и приложения. Общий объём работы составляет 201 страницу, в том числе 103 страниц машинописного текста, 70 рисунков, 15 таблиц, список использованной литературы 156 наименований.

Личный вклад автора состоит в:

- разработке эффективной конструкции металлической трубчатой микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала, создании оборудования ударного действия для устройства таких микросвай;
- организации и проведении экспериментальных исследований закономерностей формирования параметров уширения и зоны уплотненного грунта основания, определении несущей способности микросвай с различными уширениями;
- анализе экспериментальных данных и установлении соответствующих зависимостей для расчета трубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала;
- разработке методики составления исходных данных к решению упругопластической задачи механики грунтов для оценки НДС системы "микросвая с уширением - основание" методом конечных элементов.

Методы исследований. При выполнении комплекса задач для достижения поставленной цели были использованы следующие методы исследований:

- метод математического моделирования напряженно-деформированного состояния системы "микросвая-основание" на основе решения осесимметричной версии упругопластической задачи механики грунтов с использованием метода конечных элементов;
- экспериментальные исследования несущей способности микросвай, а также параметров уширений и зон уплотненного грунта основания по результатам статических испытаний в натуральных условиях строительных площадок.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель исследований, отмечена новизна и практическое значение работы, сформулированы вопросы, которые выносятся на защиту.

В первой главе дан обзор изученности рассматриваемого вопроса и, в частности, опыта применения свайных фундаментов при реконструкции зданий и сооружений, эффективности фундаментов с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала, методов исследования параметров уширения и зон уплотненного грунта основания, нелинейных методов оценки напряженно-деформированного состояния системы "основание-фундамент". На основании анализа и обобщения известных исследований обоснована целесообразность и актуальность выполнения настоящей работы, поставлены задачи исследований.

За последние 25 лет сваи и фундаменты с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала получили широкое распространение в строительстве. Этому способствовали Багдасаров Ю.А., Бартоломей А.А., Винников Ю.Л., Вихорев А.К., Власов Ю.В., Глухов В.С., Гольдфельд И.З., Готман А.Л., Догадайло А.И., Зоценко Н.Л., Крутов В.И., Лапшин Ф.К., Омельченко П.Н., Рабинович И.Г., Савинов А.В., Сальников Б.Л., Слюсаренко С.А., Швец В.Б.

Сваи с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала относятся к группе фундаментов, сооружаемых без выемки грунта, в соответствии с классификацией фундаментов и искусственных оснований, разработанной Н.Л. Зоценко. Для них общим признаком является наличие "области влияния", которая формируется в период их устройства. Это объем грунта, окружающий фундамент, в пределах которого происходит изменение его свойств, а также структуры и текстуры. "Область влияния" имеет несколько концентрических зон, основной из которых является зона уплотненного грунта. В пределах этой зоны грунт имеет плотность сложения выше природной. При загрузении фундамента зона уплотнения работает вместе с ним и в

значительной степени определяет напряженно-деформированное состояние (НДС) системы "основание-фундамент".

Оценить НДС системы "основание-фундамент" возможно путем рассмотрения грунта в виде моделей нелинейной механики грунтов и, в частности, путем решения упругопластической задачи.

Исследованиям в области нелинейной механики грунтов посвящены работы Бойко И.П., Бутрова А.К., Вялова С.С., Винокурова Е.Ф., Гольдина А.Л., Дидуха И., Зарецкого Ю.К., Мальшева М.В., Мурзенко Ю.Н., Николаевско-го В.Н., Пилягина А.В., Соловьёва Ю.И., Строганова Л.С., Тимофеевой Л.М., Фадеева А.Б., Шапиро Д.М., Шаповала В.Г., Швеца Р.Б., Школы А.В.

Целью исследований, рассмотренных в настоящей работе, является разработка методов проектирования и строительства фундаментов на трубчатых микросваях с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала на основе изучения в натуральных условиях технологии их устройства, оценки их несущей способности при осевых вдавливающих нагрузках, определений изменений свойств грунтов основания в результате их строительства.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- разработать способ погружения трубчатых микросвай с закрытым нижним концом на проектную отметку в стесненных условиях реконструируемых зданий и сооружений, подобрать соответствующее оборудование, позволяющее не только погружать микросваи, но и втрамбовывать через них в грунт жесткий материал;

- исследовать условия формирования уширения в нижней части микросвай в зависимости от параметров применяемого оборудования, размеров единичных порций жесткого материала и его общего объема;

- путем раскопки опытных фундаментов исследовать параметры уширения и уплотненных зон грунта, установить закономерности изменения физико-механических характеристик в основании исследуемых фундаментов;

- по результатам статических испытаний опытных фундаментов установить влияние различных факторов на их несущую способность при действии осевой вдавливающей нагрузки;

- провести оценку напряженно-деформированного состояния системы "основание - трубчатая микросвая с уширением из втрамбованного жесткого материала" для различных размеров фундаментов и инженерно-геологических условий;

- разработать практические рекомендации по проектированию и строительству таких фундаментов и внедрить их при реконструкции зданий в г. Полтаве.

Вторая глава посвящена экспериментальным исследованиям совместной работы с грунтом трубчатых микросвай.

С целью повышения эффективности трубчатых микросвай при усилении оснований и фундаментов реконструируемых зданий и сооружений было предложено втрамбовывать через них в грунт жесткий материал с целью создания уширения в нижней части микросвай.

Для погружения в грунт трубчатых микросвай в условиях реконструируемого здания была создана установка для их забивки молотом весом 1,0 кН. Установка имеет направляющую мачту, размеры которой могут изменяться для ведения работ в помещениях ограниченной высоты. С помощью этой установки сменным оборудованием в грунт втрамбовывается щебень для создания уширения в нижней части микросвай. Ввиду малого веса сбрасываемых молота и втрамбовки установка не оказывает динамического воздействия на основание и конструкции реконструируемого здания. На рис. 1 показана технологическая схема устройства трубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала с использованием предложенной установки.

В результате полевых опытных исследований несущей способности трубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного щебня была установлена ее зависимость от объема уширения. Эффективность уширения снижается с увеличением степени влажности грунта. Сравнительными исследованиями микросвай в лессовых просадочных грунтах естественной влажности и с предварительным их замачиванием установлено, что при наличии

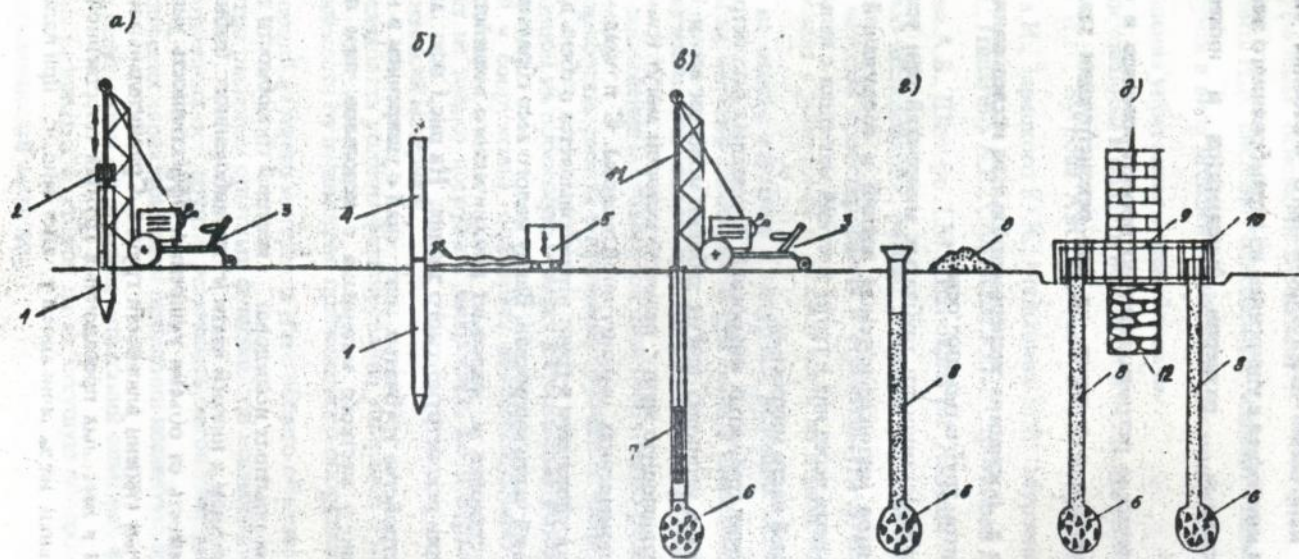


Рис. 1 Технологическая карта устройства свай с уширением

а) Забивка свай; б) наращивание следующего элемента;
 в) устройство уширения; г) заполнение ствола свай бетоном;
 д) устройство распределительной балки.

1-Тривчатые металлические сваи (головной элемент); 2-Трамбовка N1;
 3-Станок типа ДЖОЛАСИ; 4-Ледяной элемент свай; 5-Сварочный аппарат; 6-Уширение из жесткого материала; 7-Трамбовка N2;
 8-Бетон класса В-15; 9-Арматурные каркасы; 10-Распределительная балка; 11-Направляющая трамбовки; 12-Существующий фундамент.

уширения относительное снижение несущей способности микросвай за счет замачивания грунта меньше, чем для микросвай без уширения.

Для изучения параметров уширения и зон уплотненного грунта были раскопаны 24 опытные микросваи с различными объемами щебня в уширении. Этими исследованиями в результате натурных замеров установлены их размеры. Форма уширений близка к форме эллипсоида вращения, а соотношение его полуосей находится в прямой зависимости от степени влажности пылеватых-глинистых грунтов и объема единичных порций щебня, которые втрамбовывают в уширение. На основании полученных результатов уточнена методика расчета размеров уширений.

Определить соотношение между полуосями эллипса уширения (вертикальной к горизонтальной) можно по формуле

$$\eta = h_{\text{ср}} / r_{\text{ср}} = 1,24 + V_{\text{ср}} / k_{\text{гр}} k_d,$$

где $V_{\text{ср}}$ - объем щебня в уширении, м^3 ; k_d - коэффициент уплотнения щебня; $k_{\text{гр}}$ - коэффициент для единичной порции щебня $0,005 \text{ м}^3$

$$k_{\text{гр}} = 2,5 - 2,87 S_r.$$

Соответственно радиус уширения определяется по формуле

$$r_{\text{ср}} = \sqrt[3]{3V_{\text{ср}} / 4\pi\eta k_d}.$$

Для более реального представления закона изменения плотности грунта в уплотненной зоне воспользуемся вместо коэффициента пористости грунта e коэффициентом активной пористости e_a . Коэффициент активной пористости представляет собой отношение объема пор, заполненных воздухом к сумме объемов твердых частиц грунта и пор, заполненных водой. Данный коэффициент дает более наглядное представление о количестве пор, имеющих возможность уменьшать свой объем и определяется по формуле

$$e_a = (\rho_s - [\rho_d + (\rho_s - \rho_d)S_r]) / (\rho_d + [\rho_s - \rho_d]S_r).$$

Считается, что коэффициент активной пористости e_a , убывает к границе зоны уплотнения по кривой второго порядка. При этом свая считается одиночной и влияние соседних свай не учитывается. Закон изменения e_a определяется выражением

$$e_{ax} = e_a - (e_a - e_{a \min}) x^2 / (R_a - r_x)^2.$$

где e_{ax} - коэффициент активной пористости на расстоянии x от начала координат; e_a - коэффициент активной пористости естественного грунта; $e_{a \min}$ - минимальное значение коэффициента активной пористости в пределах зоны уплотнения.

Для определения $e_{a \min}$ можно воспользоваться теоретической зависимостью, которая хорошо подтверждена на практике при исследованиях параметров зон уплотнения

$$e_{a \min} = 0,49 - 0,15 \dots$$

Радиус уплотненной зоны устанавливается исходя из принятого параболического закона изменения коэффициента активной пористости грунта в пределах этой зоны

$$R_a = r_x \sqrt{(1 + e_a) / (e_a - e_{a \min})}.$$

На рис.2 приведен разрез околоствойного пространства, построенный по результатам раскопки, измерений размеров уширений и исследований параметров зоны уплотненного грунта.

С помощью пенетрационного метода исследованы параметры зоны распространения уплотнения грунта у ствола микросвай и ее уширения. Установлено, что диаметр этих зон возможно определить с помощью установленной ранее зависимости для цилиндрических фундаментов с уширением, сооружаемых без выемки грунта. Коэффициент пористости грунта в пределах зоны распространения уплотнения устанавливается по величине удельного сопротивления пенетрации в любой ее точке с помощью уравнения взаимосвязи между физическими и механическими свойствами грунта.

В третьей главе изложены результаты расчетных исследований напряженно-деформированного состояния системы "грубчатая микросвая с уширением - основание".

Для оценки напряженно-деформированного состояния основания грубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного щебня использована упругопластическая модель грунта. Расчет реализован в программе для ЭВМ как осесимметричная версия с использованием метода конечных элементов. Принятая модель позволяет учитывать форму и размеры

уширенный из жесткого материала (щебня, бетона) и зон уплотненного грунта. Неоднородность основания: природная (слоистость) и искусственная (уплотнение) при составлении исходных данных к расчету оценивается по результатам пенетрационных испытаний с использованием уравнений взаимосвязи между физическими и механическими характеристиками каждого слоя грунта. Это позволяет оценить количественно необходимые для расчета характеристики грунта в каждом конечном элементе расчетной области.

В соответствии с принятой методикой составления исходных данных к решению упругопластической задачи проведена компоновка расчетной зоны системы "трубчатая микросвая - основание". Граничные условия установлены в соответствии с реальной обстановкой работы трубчатой микросваи с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала под действием вертикальной осевой нагрузки. В расчетах использованы континуальные пространственные элементы треугольного сечения, моделирующие как материал микросваи, так и окружающий ее грунт. Сетку конечных элементов сгущали (уменьшали их размеры) в местах предполагаемой концентрации напряжений.

Расчеты были выполнены для трубчатых микросвай с различным объемом щебня в уширении для трех опытных площадок. Согласно методики, разработанной Н.Л.Зоценко, физико-механические характеристики грунтов расчетной области устанавливали в каждом конечном элементе. Для этого экспериментальным путем были установлены уравнения взаимосвязи для грунтов опытных площадок. Они устанавливают зависимость модуля деформации, характеристик прочности от удельного сопротивления пенетрации и влажности грунтов.

Площадка №1, обводненные лессовые грунты, ДК ПТК г.Полтава:
для слоя 3 (в нем уширение) - сутлинка лессового, мягкопластичного, легкого

$$\lg E/E_0 = 1,13 + 7,41 W + 1,21 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg C/C_0 = -0,5 - 1,7 W + 0,9 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg \text{tg}\varphi/\text{tg}\varphi_0 = 0,11 - 1,8 W + 0,3 \lg R/R_0 .$$

для слоя 4 (подстилающего) - суглинка лессового, тугопластичного, среднего

$$\lg E/E_0 = 1,71 + 0,6 W + 1,1 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg C/C_0 = -0,4 - 8 W - 1,8 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \varphi_0 = 2,1 + 6,4 W - 5,5 \lg R/R_0 .$$

Площадка №2, реконструкция лабораторного корпуса первой городской больницы г.Полтавы. Тип грунтовых условий по просадочности первый:

для слоя 3 (в нем уширение) - суглинка лессового, полутвердого, легкого

$$\lg E/E_0 = 0,92 + 5,8 W + 1,42 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg C/C_0 = 0,1 - 2,1 W + 0,7 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \varphi_0 = 0,05 - 1,9 W + 0,3 \lg R/R_0 .$$

для слоя 4 (подстилающего) - суглинка лессового, мягкопластичного, среднего

$$\lg E/E_0 = 1,5 + 9,1 W + 3,3 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg C/C_0 = 2,2 + 0,2 W + 1,1 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \varphi_0 = -0,15 - 5,1 W - 2,4 \lg R/R_0 .$$

Площадка №3 (опытная) на базе МП "ЭКФА" п. Гожуль:

для слоя 3 (в нем уширение) - суглинка лессового, твердого, среднего

$$\lg E/E_0 = 1,02 + 6,32 W + 1,37 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg C/C_0 = -0,65 - 1,51 W + 0,82 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \varphi_0 = 0,07 - 1,63 W + 0,23 \lg R/R_0 .$$

для слоя 4 (подстилающего) - суглинка лессового, твердого, легкого

$$\lg E/E_0 = 0,87 + 6,1 W + 1,27 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg C/C_0 = 0,15 - 2,15 W + 0,61 \lg R/R_0 ;$$

$$\lg \operatorname{tg} \varphi / \operatorname{tg} \varphi_0 = -0,08 - 1,65 W + 0,28 \lg R/R_0 .$$

С помощью полученных уравнений по величине удельного сопротивления пенетрации R , и природной влажности грунта W в каждой точке расчетной области устанавливали механические характеристики грунта. Эта операция включена в общую программу расчета, реализованную на ЭВМ.

Параметры α и k в условиях Мизеса-Шлейхера-Боткина принимали в зависимости от прочностных характеристик грунта по формулам

$$\alpha = \sin \varphi / [3(1 - \sin^2 \varphi)^{1/2}] \approx (\sin \varphi) / 3 ;$$

$$k = \alpha(1 - 12\alpha^2)^{1/2} \text{ м с совр.}$$

Коэффициент Пуассона устанавливали по методике Я.В. Юрика и И.А. Розенфельда по формулам

$$\text{для бутылочек и глины} \quad \nu = 0,1 + 0,31L$$

$$\text{для супесей} \quad \nu = 0,15 + 0,151L$$

Скорость дилатансии принята в соответствии с рекомендациями А.К.Бутрла и Е.А.Бугровой.

По рассмотренной методике выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния трубчатых микросвай в том числе с уширением в нижней части из втрамбованного щебня. Используемый метод расчета позволил рассмотреть несущую способность таких микросвай в зависимости от наличия и величины уширения, оценить условия формирования уширения в зависимости от степени водонасыщения грунта, учесть влияние замачивания лесового о просадочного основания.

Сопоставление данных расчета с экспериментами показали их достаточную сходимость, а также надёжность получаемых результатов, что свидетельствует о достоверности принятой методики составления исходных данных и условий расчетов. На рис.3 показаны графики зависимости "осадка-нагрузка" для микросвай с уширением из втрамбованного щебня по данным статических испытаний и по расчету.

Принятая методика установления зависимости "нагрузка - осадка" при действии вертикальной осевой нагрузки на трубчатые микросваи с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала путем численного решения упругопластической задачи системы "основание - микросвая" позволяет рекомендовать её частично взамен статических испытаний микросвай, что сократит расходы при проведении проектных и изыскательских работ.

Четвёртая глава посвящена результатам внедрения металлических трубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного жесткого материала. Разработан и доведен до практического внедрения инженерный метод проектирования фундаментов из трубчатых микросвай с уширением

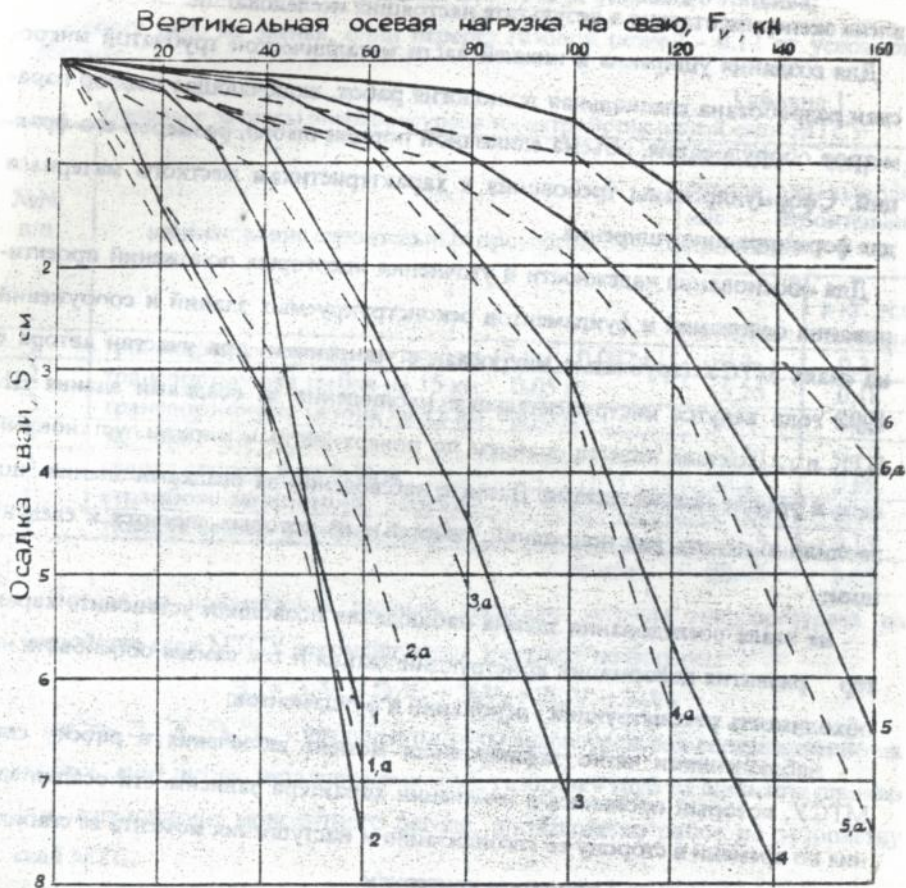


Рис. 3 Зависимости осадка-нагрузка для свай с уширением из втрамбованного щебня по данным статических испытаний: 1- без уширения; 2- 0,01 м³; 3- 0,02 м³; 4- 0,03 м³; 5- 0,04 м³; 6- 0,05 м³; по расчету: 1,а- без уширения; 2,а- 0,01 м³; 3,а- 0,02 м³; 4,а- 0,03 м³; 5,а- 0,04 м³; 6,а- 0,05 м³.

ем. Этот метод основан на определении размеров уширения и зон уплотненного грунта, зависимость которых от условий устройства микросвай установлена экспериментально в результате настоящих исследований.

Для создания уширения в нижней части металлической трубчатой микросвай разработана специальная технология работ, включающая подбор параметров оборудования, объема единичной порции щебня, размеров его фракций. Сформулированы требования к характеристикам жесткого материала для формирования уширения.

Для обоснования надежности и уточнения некоторых положений проектирования оснований и фундаментов реконструируемых зданий и сооружений на сваях МТСУ (трубчатые микросваи с уширением) при участии автора с 1992 года ведутся инструментальные наблюдения за осадками здания ДК ПТК в г. Полтаве нивелированием по поверхностным маркам, установленным в уровне цоколя здания. Данные наблюдений за осадками здания позволили выяснить ряд положений, основные из которых сводятся к следующим:

- на этапе обследования здания наблюдения позволили установить характер развития деформаций конструкций здания и тем самым обосновать необходимость реконструкции оснований и фундаментов;

- наблюдениями четко зафиксирован момент включения в работу свай МТСУ, который проявился в изменении характера зависимости осадки здания во времени в сторону её стабилизации и наступления момента её стабилизации в соответствии с принятым критерием.

Разработана методика определения затрат энергоресурсов на устройство свай МТС и МТСУ, отличающаяся тем, что подсчет энергозатрат ведется с учетом расходов на изготовление строительных материалов, а также особенностей производства строительных работ. Расчет удельных затрат энергоресурсов на устройство одной свай МТСУ приведены в табл.1.

Для подсчета затрат энергетических ресурсов следует также учитывать расход условного топлива на:

- изготовление труб на 1 кг - 1,04 кг условного топлива;

- производство 1 м³ щебня - 3 кг условного топлива;
- производство 1 м³ бетона класса В15 - 102 кг условного топлива;
- резку труб на звенья, один перерез газовой резкой - 0,12 кг условного топлива.

Таблица 1.

Удельные затраты энергоресурсов на устройства одной сваи МТСУ

№№ п/п	наименование строительных процессов	затраты энергоресурсов на выполнение строительных процессов	
		в МДж	в кг. усл. топлива
1	транспортировка звеньев труб на 15 км 0,092 т	9,2	0,31
2	транспортировка щебня на 15 км 0,05 м ³	5,25	0,18
3	транспортировка бетона на 15 км 0,096 м ³	24,4	0,83
4	забивка свай 0,092 т	5,5	0,19
5	сварка стыков 6 по 0,46 м	28,8	0,98
6	втрамбовка звеньев щебня 0,05 м ³	12,1	0,41
7	укладка бетона и щебня 0,142 м ³	3,73	0,13
итого		88,98	3,03

Исходя из приведенных данных, удельные затраты энергоресурсов на устройство сваи МТСУ рекомендуется определять по формуле:

$$Э_y = Э_т V_т + Э_p V_p + Э_б V_б + Э_{пр} V_{пр} + Э_{ш} V_{ш},$$

где Э_ш, Э_т, Э_р, Э_б, Э_{пр} - удельные затраты энергоресурсов соответственно на изготовление щебня, металлических труб, газорезку труб на элементы длиной 1 м, изготовление монолитного бетона, производство работ по устройству сваи МТС.

V_т, V_п, V_б, V_ш - соответственно объёмы металлических труб, количество их перерезов для изготовления звеньев, монолитного бетона, щебня.

Ниже в табл.2. проведено сравнение расходов на материалы и энергозатрат по двум рассмотренным вариантам устройства трубчатых микросвай при реконструкции здания детского отделения Полтавской областной инфекционной больницы. При сравнении не учитывались объёмы земляных работ и расходы по устройству распределительных балок-ростверков ввиду того, что они идентичны для обеих рассматриваемых вариантов.

Таблица 2.

Сравнение затрат материалов и энергоресурсов в результате использования микросвай МТС и МТСУ при реконструкции здания детского отделения Полтавской областной инфекционной больницы

№№ п/п	виды материальных затрат	единицы измерения	вариант первый - свай МТС	вариант второй - свай МТСУ	экономия материалов
1	металлические трубы \varnothing 152	т	36,26	13,6	22,66
2	монолитный бетон кл. В15	м ³	38,48	14,2	24,28
3	гранитный щебень \varnothing 10	м ³	-	7,4	7,4
4	энергоресурсы, усл.топливо	т	43,0	16,22	26,78

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований можно сделать такие основные выводы.

1. При реконструкции оснований и фундаментов во многих случаях оказываются эффективными металлические трубчатые микросваи, которые погружают с закрытым нижним концом, а затем объединяют балочными ростверками и передают на них нагрузку от существующих конструкций зданий и сооружений. Конструктивные особенности таких микросвай позволяют вграбовываться в основание жесткий материал с целью создания уширения в их нижней части и уплотнения окружающего грунта. Разработана конструкция таких микросвай и способ их изготовления специальным оборудованием ударного действия.

2. По результатам полевых опытных исследований на трех площадках с различными грунтовыми условиями получена зависимость несущей способности трубчатых микросвай от размеров жесткого уширения в их нижней части. При максимальном размере уширения 2,5 диаметра ствола микросвай несущая способность их по грунту увеличивается в 1,7 - 4,5 раза по сравнению с микросваями без уширения. При замачивании основания наличие уширения уменьшает относительное снижение несущей способности микросвай.

3. Натурные обмеры уширенных трубчатых металлических микросвай показали, что их форма близка к форме эллипсоида вращения, а соотношение полуосей находится в прямой зависимости от степени влажности грунта и объема единичной порции щебня. На основании полученных данных уточнена методика расчета размеров уширений. Исследование параметров зон уплотненного грунта основания показало, что закономерности их формирования описываются зависимостью, установленной ранее Н.Л. Зоценко для фундаментов, сооружаемых без выемки грунта. Коэффициент пористости грунта в пределах зоны распространения уплотнения устанавливается по величине удельного сопротивления пенетрации R , в любой её точке с помощью уравнений взаимосвязи между физическими и механическими свойствами грунтов.

4. Для оценки напряженно-деформированного состояния основания трубчатых микросвай с уширением в нижней части из втрамбованного щебня использована упругопластическая модель грунта. Расчет реализован в программе для ЭВМ как осесимметричная версия с использованием метода конечных элементов. Принятая модель позволяет учитывать форму и размеры уширений согласно установленной методике, неоднородность основания как природную (слоистость), так и искусственную (уплотнение) с помощью уравнений взаимосвязи. Всё это дает возможность использовать расчетную схему "трубчатая микросвая - основание" наиболее соответствующую действительности.

5. В соответствии с разработанной методикой составления исходных данных к решению упругопластической задачи были выполнены расчеты напряженно-деформированного состояния системы "микросвая - основание" в зависимости от наличия и величины уширения, степени водонасыщения грунта, влияния замачивания основания. Сопоставление данных расчета с экспериментами показали их достаточную сходимость, а также надежность получаемых результатов, что свидетельствует о достоверности принятой методики составления исходных данных и условий расчетов.

6. Для обоснования такого способа усиления при участии автора с 1992 года ведутся инструментальные наблюдения за осадками здания ДК ПТК в г.

Полтаве. Для части здания, усиленной подведением трубчатых микросвай, максимальная осадка за период реконструкции и последующей эксплуатации не превысила 2 см. Из этой деформации 1,75см произошло до включения в работу микросвай. В течение первого года работы микросвай приращение осадки составило 0,15см, что свидетельствует о стабилизации осадки усиленной части здания. За последующий годичный срок приращение осадки составило всего 0,06см. Это свидетельствует об эффективности принятого метода усиления оснований и фундаментов реконструированного здания.

7. Разработана методика определения затрат энергоресурсов на устройство трубчатых микросвай, отличающаяся тем, что подсчет энергозатрат ведется с учетом расходов на изготовление строительных материалов, а также особенностей производства строительных работ. В результате внедрения микросвай с уширением взамен обычных при реконструкции детского отделения Полтавской областной инфекционной больницы при обеспечении одинаковой расчетной нагрузки на сваи, экономия составила: металлических труб $\varnothing 152\text{мм}$ - 62,5%; бетона класса В15 - 63,1%; энергоресурсов - 62,3%.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах.

1.Бабенко В.А., Винников Ю.Л., Нетудыхата С.Н. Учет фактора времени для свай, погружаемых вдавливанием // Проблемы свайного фундаментостроения: Тр. III междунар. конф. - Пермь, 1992. - Ч.1. - с.92-95. Доля автора 45%. Личный вклад автора состоит в установлении зависимости несущей способности микросвай от объема уширения.

2.Бабенко В.А., Нетудыхата С.Н. Применение метода вдавливания свай для усиления фундаментов // Конструкции зданий и строительное производство: Сб. научн. тр. - Киев УМК ВО, 1993. - с.72-79. Доля автора 75%. Личный вклад автора состоит в разработке конструкции микросвай и оборудования для их погружения.

3.Винников Ю. Л., Бабенко В.А., Нетудыхата С.Н. Осадки реконструируемых зданий // Тез. докл. 45 научной конференции профессоров, преподава-

телей, наукових працівників, аспірантів і студентів інститута, Ч.2. -Полтава, 1993. - с. 58-59. Доля автора 45%. Личний вклад автора состоит в установленні залежності осадок збудованого в процесі реконструкції і його експлуатації

4. Зоценко Н.Л., Винников Ю.Л., Бабенко В.А. Усилення фундаментів загальнобудівельного збудованого методом вдавлювання свай // Реконструкція, Санкт-Петербург-2005: Матеріали міжнародного симпозиуму. Ч.2.-С.Петербург, 1993. с.130-133. Доля автора 35%. Личний вклад автора состоит в установленні залежностей для установлення параметрів уширених і зон ущільнень, від різних факторів.

5. Беда С.В., Бабенко В.А., Нетудьката С.Н. Моделирование напряжённо-деформированного состояния фундаментов с уширением в нижней части из втрамбованного жорсткого матеріалу // II Українська науково-технічна конференція по механіці ґрунтів і фундаментах: Сб. докладів. Том 1. - Полтава, 1995. - с.27-29. Доля автора 45%. Личний вклад автора состоит в розробці методики складання вихідних даних к решению упругопластической задачі механіки ґрунтів для оцінки НДС системи "мікросвая з уширенням - основа" методом кінцевих елементів.

АНОТАЦІЯ

Бабенко В.О. Трубчасті мікропалі з розширенням у нижній частині з втрамбованого жорсткого матеріалу.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.23.02 - основи та фундаменти, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури. Дніпропетровськ 1996.

Розроблено конструктивне рішення трубчастої мікропали з розширенням у нижній частині з втрамбованого жорсткого матеріалу. Запропонована технологічна схема виготовлення мікропал. Експериментально досліджені процеси формування розширення, зони ущільненого ґрунту; залежність несучої здатності мікропал від об'єму розширення, а також при зволоженні лесового просадочного ґрунту. Напружено-деформований стан системи "мікроपालі-

основа" оцінено шляхом вирішення пружнопластичної задачі за допомогою методу скінчених елементів. При цьому характеристики ґрунту встановлені у кожному скінченному елементі за допомогою рівнянь взаємозв'язку між фізичними і механічними характеристиками ґрунтів. Розроблені пропозиції по підрахунку енергоресурсів на виготовлення таких мікропаль.

ANNOTATION

Babenko V.A. Tubular micropiles with widening at the low parts made of a tamped hard material.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, speciality 05.23.02 - Basements and foundations. The Pridneprovsk State Academy of Construction and Architecture. Dnipropetrovsk 1996.

The Structural design of a tubular pile with widening at the low parts made of a tamped hard material is elaborated. The technological scheme on producing micropiles is proposed. The process of widening, the soil compacting zones, the dependence of a micropile load carrying capacity from the volume of widening and as well as in the state of wetting the ground is under consideration. Stress and deformed state of a system as "a micropile - a basement" is estimated by the solving elastic-plastic problem with the help of the final elements method. The characteristics of the ground are determined in every final element with the help of equations of interconnection between physical and mechanical features of the ground. Some offers have been done for saving and accounting of energy for producing such types of the micropile.

Ключові слова: мікропали, розширення, несуча здатність, зона ущільненого ґрунту, експериментальні дослідження, пружнопластична задача, скінченні елементи, енергоресурси.

БАБЕНКО Вадим Александрович

**ТРУБЧАТЫЕ МИКРОСВАИ С УШИРЕНИЕМ
В НИЖНЕЙ ЧАСТИ ИЗ ВТРАМБОВАННОГО
ЖЕСТКОГО МАТЕРИАЛА**

Специальность: 05.23.02 - Основания и фундаменты

Подписано к печати 14.11.96. Формат 60x80 1/10. Бумага белая писчая.
Печать офсетная. Объем 1 п. л. Тираж 100 экз. Заказ № 951. Бесплатно.
Подразделение оперативной полиграфии ПКИ Полтавской области.
г. Полтава, ул. Ковалея, 5.

AB 36.268