

6
A55

ГОССТРОЙ СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

На правах рукописи

И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВАЙ-ОПОР В ВЫШТАМПОВАННОМ ЛОЖЕ
В ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ I ТИПА ПО ПРОСАДОЧНОСТИ
(48I - Основания, фундаменты и подземные сооружения)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1971 г

ГОССТРОЙ СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ

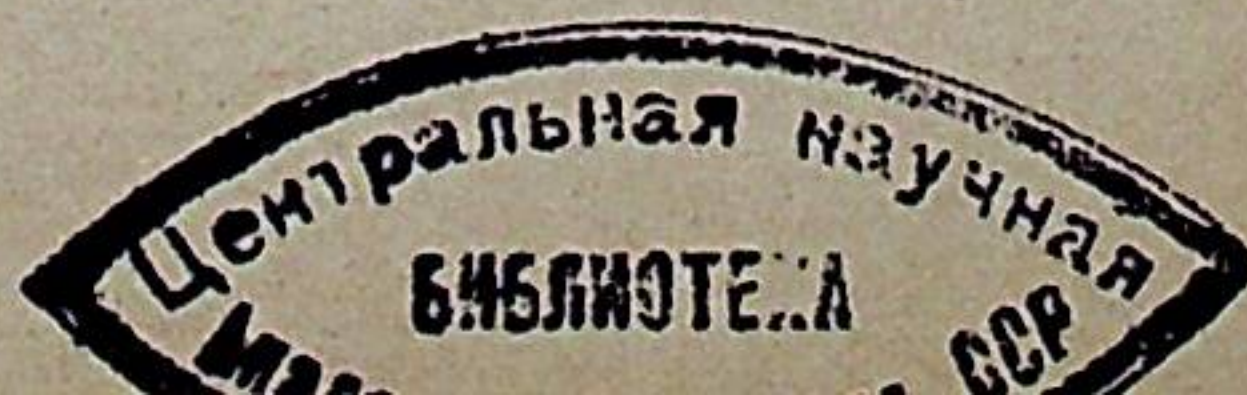
На правах рукописи

И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ СВАЙ-ОПОР В ВЫШТАМПОВАННОМ ЛОЖЕ
В ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЯХ I ТИПА ПО ПРОСАДОЧНОСТИ
(48I - Основания, фундаменты и подземные сооружения)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва - 1971 г



Работа выполнена в НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР.

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ - кандидат технических наук
А.А.ГРИГОРЯН

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ - доктор технических наук
СОКОЛОВ Н.М.
кандидат технических наук
КИРИЛЛОВ А.А.

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ - трест "УКРОРГТЕХСЕЛЬСТРОЙ" Минсельстроя СССР

Автореферат разослан "9" декабря 1971г.

Защита состоится "12" марта 1971г. на заседании Ученого Совета НИИ оснований и подземных сооружений (г.Москва, Ж-389, 2-я Институтская ул., 6).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Ученый Совет института направляет Вам для ознакомления автореферат диссертации И.З.Гольдфельда на тему: "Исследование работы свай-опор в выштампованном ложе в грунтовых условиях I-го типа по просадочности". Отзыв на автореферат в 2-х экз. направлять по адресу: г.Москва, Ж-389, 2-я Институтская ул., д.6.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ИНСТИТУТА -
кандидат технических наук, доцент А.П.ГЛУШКО

Увеличение масштабов строительства в нашей стране в районах с различными инженерно-геологическими условиями ставят перед необходимостью все чаще использовать в качестве оснований просадочные грунты. Нормальная эксплуатация сооружений на просадочных грунтах требует применения противопросадочных мероприятий, которые увеличивают стоимость и сроки возведения объектов.

Разделение грунтовых условий на 2 типа по просадочности, принятое в главе СНиП II-Б.2-62 "Основания и фундаменты зданий и сооружений на просадочных грунтах", изменило подход к назначению вида и объема противопросадочных мероприятий. Это привело к внедрению экономичных проектных решений, которые ранее считались недопустимыми. Например, в грунтовых условиях I-го типа по просадочности широкое распространение получили висячие сваи, не полностью прорезающие просадочную толщу. Опыт эксплуатации объектов на свайных фундаментах в районах с просадочными грунтами подтвердил целесообразность и надежность этого вида фундаментов.

Исследованию ряда вопросов, связанных с работой свай в просадочных грунтах, посвящены работы советских ученых Ю.М.Абелева, В.П.Ананьева, В.Н.Голубкова, М.Н.Гольдштейна, А.А.Григорян, Ю.В.Держина, В.А.Зурнаджи, А.А.Кириллова, М.И.Малышева, С.М.Рака, Д.А.Романова, И.В.Финаева, Х.Р.Хакимова, Г.Ф.Шипканова и др.

Общая тенденция практики строительства к увеличению нагрузок на фундаменты ограничивает область применения коротких призматических свай. Поэтому в грунтовых условиях I-го типа по просадочности все шире начинают применяться новые виды фундаментов, непосредственно в н е д р я е м н е в грунт и имеющие значительную несущую способность: пирамидальные сваи, забивные блоки, сваи-опоры в выштампованном ложе, фундаменты в котлованах, полученных вытрамбовыванием грунта. Повышение несущей способности этих фундаментов

объясняется созданием уплотненной зоны грунта с улучшенными физико-механическими свойствами. Степень улучшений зависит от начальных характеристик грунта, параметров динамического процесса по уплотнению и от формы и размеров фундамента, внедряемого в грунт.

Множество факторов, влияющих на работу фундаментов, затрудняет создание строгой методики расчета; отсутствие практических приемов оценки поведения фундаментов препятствует их внедрению в массовое строительство.

Темой диссертации явилось исследование работы свай-опор в выштампованном ложе в грунтовых условиях I-го типа по просадочности. Свая-опора представляет собой тело заостренной книзу под углом 30-80° формы (конус, усеченный конус, параболоид и т.д.), устанавливаемое в предварительно выштампованное ложе. Выштамповывание производится направленным сбрасыванием штампа, имеющего форму, идентичную форме свай-опоры. Устройство свай-опоры с применением выштамповывания удовлетворяет как основным общестроительным требованиям (индустриальность, минимальный объем земляных работ, возможность использования местных строительных материалов), так и требованиям строительства на просадочных грунтах (частичная прорезка просадочной толщи, уплотнение грунта основания, малая чувствительность к кренам).

Полученные результаты научных исследований намечалось довести до практических рекомендаций и внедрения в практику строительства.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и приложения; содержит 171 страницу машинописного текста, 53 рисунка и графика, 21 фото, 11 таблиц и перечень 125 использованных работ советских и иностранных авторов.

В первой главе дан обзор видов фундаментов, устраиваемых в грунтовых условиях I типа по просадочности с предварительным созданием уплотненной зоны. Приводится описание и характеристика свай-опор в выштампованном ложе.

Уплотнение как метод снижения осадок и фильтрации известно со времен строительства первых земляных плотин, но приемы работ обеспечивали повышение плотности грунта на малую глубину (менее 0,3-0,5 м).

Под руководством Абелева Ю.М. были проведены исследования эффективности уплотнения оснований тяжелыми трамбовками (Абелев Ю.М., Швец В.Б., 1955). Последующая широкая проверка метода в основаниях реальных сооружений на просадочных и насыпных грунтах (Швец В.Б., Крутов В.И.) подтвердила его целесообразность. Исследования позволили установить оптимальные условия для трамбования - начальную влажность (Крутов В.И., 1961) и параметры удара (Дидух Ю.И., 1962; Ставницер Л.Р., 1966).

Дальнейшее развитие метода связывают с конструкцией и формой фундамента. Несущая способность свай в слабых грунтах была увеличена вдвое забивным железобетонным оголовком (Крутов К.Е., 1964). Малонагруженные здания начали возводить на фундаментах из забивных блоков (Нудельман Л.А., Ефремов М.Г., Дубовой И.Б., 1964). Для строительства на просадочных грунтах предложены свай-опоры в выштампованном ложе (Григорян А.А., 1966), свай с оголовками, забиваемыми в грунт, и те же забивные оголовки без свай (Тарасов М.В., Власов Ю.В., Ногтев Н.В., Мезенцев Ю.Г., 1965). В дальнейшем внедрение забивных оголовков получило развитие в виде фундамента в котловане, полученном вытрамбовыванием просадочного грунта (Крутов В.И., Власов Ю.В., 1967).

Даже краткое перечисление известных нам работ говорит о появлении новой тенденции в фундаментостроении на слабых грунтах: обеспечить эффективность конструкции с о ч е т а н и е м метода устройства фундамента с его формой. Наиболее детально разобраны исследования Швеца В.Б., Нудельмана Л.А., Крутова В.И. и Власова Ю.В., которые имеют некоторую общность подхода по ряду вопросов с рассматриваемой диссертацией.

Анализ этих работ показал следующее:

1. Внедрение фундамента (трамбовки) в грунт сопровождается образованием уплотненной зоны, близкой по форме к шару (эллипсоиду). Размеры зоны даются в долях от размеров подошвы и изменяются по данным различных авторов в пределах до 3-х раз. В указанных работах характер уплотненной зоны не увязан со свойствами грунта, глубиной внедрения фундамента и его формой.

2. Влияние уплотнения на несущую способность и деформативность основания учитывается эмпирическими коэффициентами, определяемыми в натурных опытах. Работа фундамента по боковой поверхности во внимание не принята. Предложенные методы расчета относятся к фундаментам определенных размеров и формы в конкретных грунтовых условиях.

3. Предельное состояние по несущей способности в опытах не было достигнуто, что затрудняет оценку достоверности расчетных формул.

В настоящей работе были проведены экспериментальные исследования, в которых указанные вопросы получили развитие применительно к коническим сваям-опорам.

В этой же главе дается описание отличительных особенностей свай-опор.

1. В сравнении со сваями конической (пирамидальной) формы свая-

опора имеет гораздо больший угол заострения; в отличие от столбчатых фундаментов на уплотненном основании она передает нагрузку не только подошвой, но и боковой поверхностью. Эти признаки улучшают работу свай-опоры.

2. Работа по выштамповыванию ложа намного меньше работы, необходимой для забивки этой же свай-опоры, как свай в грунт, ибо исключается та часть работы, которая затрачивается на деформацию самой свай. Установка свай-опоры в предварительно созданное ложе позволяет снизить марку бетона и расход арматуры на фундамент.

3. Свая-опора удобна в производстве работ. Она может выполняться сборной или монолитной из бетона, грунтосиликата и других местных материалов; хорошо транспортируется и складывается.

4. Целесообразно применение свай-опор в выштампованном ложе в виде оболочек, так как при этом обеспечивается более полный контакт примыкания поверхности оболочки к грунту.

5. Сопряжение свай-опоры с типовыми надфундаментными конструкциями не вызывает изменений в последних.

В т о р а я г л а в а посвящена процессу устройства ложа свай-опор. Приводятся инженерно-геологические условия опытной площадки и анализ основных физико-механических показателей грунта. Описывается методика выполненных исследований, а также использованное оборудование.

Эксперименты проводились в натурных условиях в г.Каховке Укр. ССР. Для исследования грунтов площадки было пройдено 7 шурфов сечением $2-2,5 \text{ м}^2$ (глубиной 3,5 м - 6 шт. и глубиной 10 м - 1). Основанием свай-опор служил слой лессовидных супесей и суглинков мощностью 8-9 м со следующими средними физико-механическими характеристиками (табл. I).

Таблица I

Показатели	Един. изм.	Количество
Удельный вес	г/см ³	2,58
Объемный вес	г/см ³	1,56
Влажность	%	10,9
Пористость	%	45
Предел раскатывания	%	14
Предел текучести	%	29
Макс.молекулярная влагоемкость	%	12,5
Консистенция		< 0
Степень влажности		0,31
Угол внутреннего трения	град.	26
Удельное сцепление	кг/см ²	0,25
Модуль деформации при нагрузке 1-3 кг/см ²	-"	117
Модуль деформации водонасыщенного грунта при нагрузке 0,5-1 кг/см ²	-"	26
Коэффициент сжимаемости водонасыщенного грунта при нагрузке 0,5-1 кг/см ²	-"	0,068

Относительная просадочность в лабораторных условиях определялась по методике 2-х кривых на приборах "Гидропроекта". Величина ее при давлении 3 кг/см² колебалась в пределах от 0,042 до 0,087. Обработка данных компрессионных испытаний методом наименьших квадратов показала, что зависимость относительной просадочности от давления в каждом слое грунта хорошо аппроксимируется функцией вида

$$\delta_{pr} = a \lg p + b, \quad (I)$$

где δ_{pr} - относительная просадочность при давлении p на образец в компрессионном приборе;

a и b - параметры, постоянные для каждого слоя грунта.

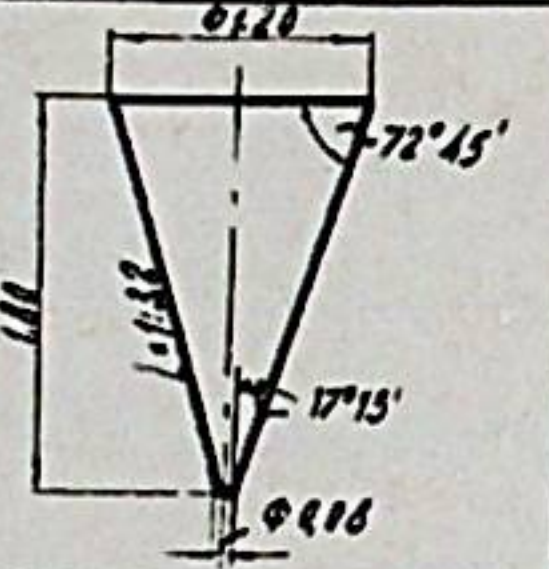
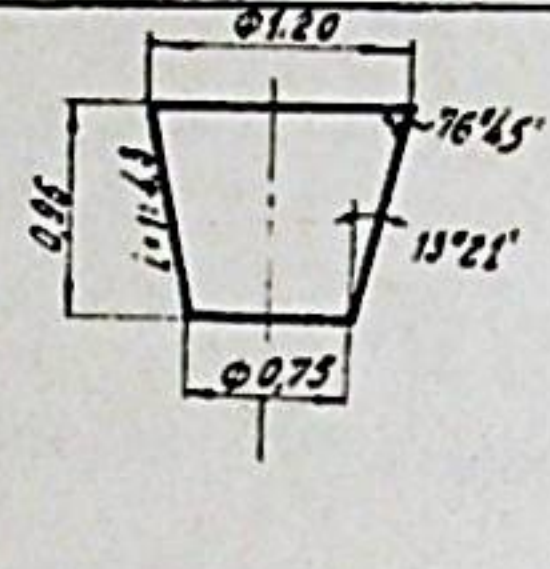
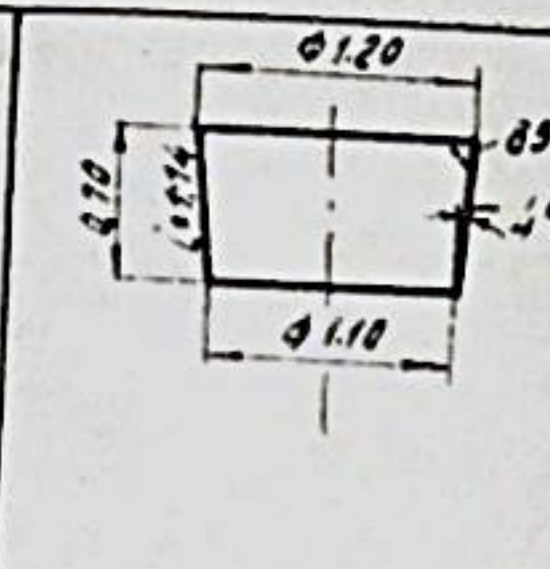
Коэффициент корреляции составил $R = 0,95-0,98$; показатель тесно-

ты связи $\alpha = 0,93-0,96$.

Из анализа предложений различных авторов (Коротких И.В., Стефанова Г., Дранникова А.М., Григорян А.А., Мустафаева А.А., Корниенко Н.В., Тофанюка Ф.С.) следует, что зависимость $\delta_{pr} = f(p)$ в форме (I) физически обоснована и подтверждается косвенно в ряде работ. Давления, соответствующие величинам $\delta_{pr}=0$ и $\delta_{pr}=0,01$, названы соответственно давлением набухания $p_{наб}$ и начальным просадочным давлением p_n . Возможность набухания просадочных грунтов (Абелев Ю.М., Денисов Н.Я., Сорочан Е.А., Дранников А.М., Коган Я.Л., Григорян А.А.) и характер кривой $\delta_{pr} = f(p)$ показывают необходимость определения относительной просадочности при давлениях, меньших 0,5 кг/см².

Наиболее хорошо сходятся величины просадочности в компрессионных приборах с просадкой грунта под действием собственного веса. Для уточнения типа грунтовых условий на опытной площадке было произведено замачивание грунта в котловане 15x15 м (к.т.н. Раевский И.Е. и инж. Фортунатов В.Б., ОИСИ). Максимальная просадка поверхности составила 2,1 см. Расчет просадки под действием собственного веса на основе зависимости (I) дал величину 2,2 см, что практически совпадает с опытом.

Для выполнения экспериментов в тресте "Каховсельстрой" были изготовлены образцы свай-опор и оборудование по их устройству. Свай-опоры имели одинаковый объем, вес и диаметр верхнего основания, но различный диаметр нижнего основания и угол конусности (табл.2). Образцы свай-опор использовались в качестве штампов при устройстве ложа. Штампы сбрасывались с высоты 6 м внутри специального направляющего устройства до полного погружения в грунт. Всего было сделано 12 выштамповок - по 4 со штампом каждой формы. Влажность грунта

Эскиз формы трамбовки-штампа					
					
№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Ф 1	Ф 2	Ф 3
1	Геометрич. объем	м³	0,73	0,73	0,73
2	Боковая поверхность	м²	3,79	3,02	2,53
3	Нижняя поверхность	"	0,005	0,44	0,95
4	Суммарная поверхность	"	3,80	3,46	3,48
5	Отношение объема к поверхности	и	0,192	0,210	0,209
6	Век трамбовки-штампа	мс	6,20	6,20	6,20
7	Удельное давление по площади суммарной поверх.	мг/м	1,64	1,80	1,79

по глубине проникания штампов изменялась в пределах 15,5-16,7%; скорость при ударе - в пределах 8,6-10,4 м/сек. Таким образом, параметры динамического процесса и грунтовые условия для всех 3-х форм довольно близки. При каждом сбрасывании штампа замерялись осадки самого штампа и поверхности грунта вокруг него.

Имеющиеся данные по уплотнению грунтов относятся к плоским трамбовкам и не дают ответа на вопрос о влиянии формы штампа на величину остаточной осадки при ударе.

Эксперименты показали, что для всех форм свай-штампов имеет место зависимость вида

$$\frac{U_n}{S_n} = (k_p \lg n + 1) \frac{U_1}{S_1}, \quad (2)$$

где U_1, U_n - выштампованный объем за первый и n ударов;
 S_1, S_n - выштампованная поверхность за первый и n ударов;
 n - количество ударов;

K_{ϕ} - коэффициент интенсивности накопления остаточных деформаций с учетом формы штампа.

По величине отношения U_n/S_n находится остаточная осадка штампа за n ударов

$$h_n = F\left(\frac{U_n}{S_n}\right) \quad (3)$$

Исходя из формулы (2), представляется целесообразным в качестве отказа принять не величину остаточной осадки, а величину приращения Δ_n за удар

$$\Delta_n = \frac{U_n}{S_n} - \frac{U_{n-1}}{S_{n-1}} = k_p \frac{U_1}{S_1} \lg \frac{n}{n-1} \quad (4)$$

Установлено влияние формы свай-штампа на величину оптимальной влажности при устройстве ложа.

В результате выштамповывания ложа свай-опор в основании формируется зона уплотнения. Опыты с призматическими сваями в просадочных грунтах показали, что характер уплотненной зоны оказывает большое влияние на несущую способность свай при замачивании их основания (Рак С.М., Голубков В.Н., Григорян А.А., Дежин Ю.В., Мамонов В.М. и др.). Несмотря на их несомненную ценность, необходимо было провести дополнительные исследования, учитывающие влияние конусности свай-опор на форму зоны уплотнения.

В основании каждой опоры по диаметральной плоскости ложа до выштамповывания было заложено 8-10 нитей длиной 500 см, состоящих из отдельных фиксаторов. Плотность грунта после выштамповывания определялась по пробам, отобранным в количестве 54-72 шт в той же диаметральной плоскости методом режущего кольца. По изменению положения нитей и по данным определения плотности была определена уплотненная зона свай-опор. Границы зоны уточнялись графическим планиметрирова-

нием, используя постоянство веса скелета грунта до и после вытеснения его в зону уплотнения.

Показано, что независимо от формы штампа, уплотненная зона включает две области: собственно уплотненную зону и зону выпора II. Собственно уплотненная зона состоит из 3-х частей: уплотненной зоны по боковой поверхности I, упругого ядра III и уплотненной зоны под подошвой IV. Упругое ядро образуется уже при первых ударах штампа; при последующих ударах оно перемещается со штампом как одно целое. Ядро имеет форму полушара с радиусом, равным радиусу подошвы штампа.

Размеры уплотненных зон I и IV взаимосвязаны и зависят от глубины внедрения штампа. Для коротких призматических свай (угол конусности $\alpha = 0$) радиус зоны I увеличивается с глубиной по закону, близкому к линейному. С ростом угла конусности происходит увеличение радиуса уплотненной зоны I по боковой поверхности, причем образующая линия зоны близка к параболе. При малой площади подошвы (свая-опора FI) глубина уплотненной зоны непосредственно под острием существенно меньше, чем в стороне от него.

Анализ размеров зон, полученных в опытах, позволяет рекомендовать практический способ определения границ уплотненной зоны на любой момент внедрения штампа.

Уплотненная зона I характеризуется линейным углом φ между образующими линиями боковой поверхности свай и зоны I

$$\varphi = \varphi_0 + k\alpha, \quad (5)$$

k - безразмерный коэффициент пропорциональности (для наших опытов $k = 1,4$);

α - угол конусности свай-опоры, град;

φ_0 - значение угла φ для призматической свай ($\alpha = 0$); для бетонных свай $\varphi_0 = \frac{\varphi}{4} + (2 \div 3)^\circ$; φ - угол внутреннего трения грунта.

Наибольший радиус зоны I определяется по формуле

$$R_1 = \frac{(H+z+R \operatorname{tg} \rho) \operatorname{tg} \rho}{1 + \operatorname{tg}^2 \rho}, \quad (6)$$

где H - глубина внедрения свай-штампа;

z, R - радиусы соответственно подошвы и сечения в уровне поверхности;

ρ - угол между поверхностью грунта и образующей зоны I.

Глубина уплотненной зоны I от поверхности

$$H_1 = (R_1 - R) \operatorname{tg} \rho \quad (7)$$

Глубина уплотнения в целом от подошвы штампа

$$H_2 = H_1 + R_1 \left(\frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi} \right) - H \quad (8)$$

Эта глубина обычно считается критерием качества уплотнения при поверхностном трамбовании грунтов.

Из формул (6)-(8) следует, что размеры уплотненной зоны зависят от формы и размеров внедряемой конструкции и прочности грунта (угол φ).

Укажем, что радиус R_1 не возрастает с глубиной бесконечно, как это следует из формулы (6). Формула выведена на основе замены криволинейной образующей зоны I прямой линией. В действительности на определенной глубине криволинейная образующая приближается асимптотически к вертикали. На этой глубине радиус R_1 достигает наибольшего значения и при последующем погружении практически не меняется. Знание размеров уплотненной зоны позволило определить ее влияние на работу свай-опор под нагрузкой в замоченном просадочном грунте.

В третьей главе описывается методика и результаты испытаний свай-опор в замоченном грунте, дается характеристи-

ка деформируемых зон и анализ развития осадок фундамента и деформаций грунта основания в зависимости от нагрузки и времени. Приведены два способа оценки результатов статических испытаний свай-опор.

Испытания свай-опор всех форм производились в замоченном грунте, т.е. с учетом наиболее тяжелых условий их работы. Нагрузка прикладывалась гидравлическим домкратом и поддерживалась постоянной с помощью автоматической установки НИИ оснований. Грунт замачивался из приемка диаметром 3,2 м и глубиной 0,3 м.

Фиксация перемещений свай-опоры и грунта основания производилась прогибомерами системы Аистова и Максимова. Осадка самой опоры измерялась по трем точкам, расположенным на равных расстояниях по периметру.

В разных точках основания в плане и по глубине (в том числе, под свай-опорой) устанавливались глубинные марки в количестве 18-27 шт. Также закладывались нити из фиксаторов. Методика закладки нитей аналогична применявшейся при исследовании уплотненных зон.

Всего на опытной площадке было проведено 6 статических испытаний - по два параллельных со свай-опорой каждой формы в натуральную величину. В первой серии испытаний (Ф1-3, Ф2-3, Ф3-3) определялись осадки свай-опоры и грунта основания, во второй серии (Ф1-4, Ф2-4, Ф3-4) - только осадки самой свай. Каждый опыт продолжался 25-30 дней.

Обработка результатов статических испытаний любых фундаментов связана, в первую очередь, с определением фаз сопротивления основания. Дан способ расшифровки графика $S=f(p)$, который позволил определить пределы пропорциональности $R_{пр}$ и несущей способности $R_{кр}$ не визуальным, а путем графического построения. Найденные величины показаны в табл.3.

Таблица 3

Наименование свай-опоры	Осадка на пределе пропорцион., см	Предел пропорциональности, тс	Критическая нагрузка	
			в тс	в долях от Ф1
Ф1-3	1,6	48,6	75,2	I
Ф2-3	1,9	45,7	61,4	0,81
Ф3-3	4,6	50	-	-
Ф1-4	3,2	52,9	78,7	I
Ф2-4	3,5	50,0	62,5	0,85
Ф3-4	4,9	51,5	63,9	0,87

Из таблицы видно, что наилучшие показатели имеет свай-опора Ф1; свай-опора Ф3 несколько превосходит Ф2 по несущей способности, но значительно уступает в эффективности по величине деформаций.

После окончания испытаний свай-опор первой серии их основания вскрывались шурфами, и производилось сопоставление зон деформаций, полученных по плотности и изгибу нитей, с работой глубинных марок. Анализ показал, что размеры зон деформации близки к размерам зон уплотнения. Слабо, но намечена зона выпора II. Вдоль боковой поверхности свай-опор отклонения нитей вниз составили 1,5-4,5 см и не превышали осадок на пределе пропорциональности. Отмечена некоторая разница в распределении плотности в зонах уплотнения и деформации свай-опоры Ф1. Если уплотнение грунта непосредственно по оси свай Ф1 под ее острием много меньше, чем в стороне, то в деформируемой зоне под острием свай-опоры наблюдается резкое возрастание плотности. Для формы Ф1 имеет место преимущественно смещение грунта вниз и в стороны, для Ф2 и Ф3 - вверх и в стороны.

До нагрузки, близкой к пределу пропорциональности, приращения осадок марок пропорциональны ступеням нагрузок и проходят, в основ-

ном, в зоне уплотнения. При нарушении линейности графика $S = f(p)$ перемещения отмечаются до уровня H_a^1 , лежащего ниже зоны уплотнения. Характер эпюр перемещений в стороне от оси свай-опор показывает, что просадка сопровождается смещением грунта в стороны (выпором).

Относительная глубина приведенной деформируемой зоны свай-опор H_a^1 составляет $1,1-1,3R^y$. Эта величина близка к относительной глубине: фактической сжимаемой толщии под штампами в обычных грунтах (Коновалов П.А.) и деформируемой зоны - под штампами в просадочных грунтах (Григорян А.А.). По аналогии можно принять действие свай-опоры на грунт эквивалентным действием центрально нагруженного плоского штампа диаметром $D^y = 2R_I$ с глубиной заложения H_I (см.гл.2).

Опыты со сваями в обычных грунтах позволяют прогнозировать осадку от длительной нагрузки по результатам кратковременных испытаний (Хамов А.П., Бартоломей А.А.). Анализ опытов со сваями-опорами в замоченном просадочном грунте показал, что зависимость осадки от времени на каждой ступени нагрузки хорошо аппроксимируется функцией вида

$$S = S_0 \left(\frac{t}{t_0} \right)^{\psi(p)}, \quad (9)$$

где S - осадка за время t после приложения новой ступени нагрузки;
 S_0 - осадка за время $t_0 = 2-3$ часа;

$\psi(p)$ - показатель, зависящий от вида грунта, конструкции свай и величины нагрузки P

$$\psi(p) = \frac{1}{a p^2 + b p + c} \quad (10)$$

a и b - параметры, которые подбираются по графикам $S = f(p, t)$ конкретного испытания.

На основе формул (9) и (10) дается способ определения фаз и выбора предельной по осадке нагрузки на сваю. В I фазе сопротивления основания свай-опор время условной стабилизации по ступеням нагрузок не превышает 24 час. За пределом пропорциональности (II фаза сопротивления основания) величина осадок и периодов стабилизации резко возрастает: ошибка в выборе нагрузки в 5-10% может вызвать осадки, не стабилизирующиеся во времени. Предельные нагрузки, полученные на основе развития осадок во времени, близки по величине к пределам, определенным по кривой $S = f(p)$ графическим способом (гл. III).

В четвертой главе изложен способ расчета свай-опор в замоченном грунте по несущей способности и по деформациям.

Можно считать, что свай-опоры занимают промежуточное положение между висячими короткими сваями и столбчатыми фундаментами на предварительно уплотненном основании. Рассмотрена возможность применения к сваям-опорам методов расчета этих конструкций (Голубков В.Н., Кириллов А.А., Чарушников И.Г., Григорян А.А. и Мамонов В.М., Крутов В.И. и Власов Ю.В.). В указанных работах положительным моментом является использование параметров уплотненной зоны и величины начального просадочного давления замоченного грунта. К сожалению, размеры уплотненной зоны не всегда достаточно обоснованы; методика определения начального давления или не приводится, или различная в разных работах, что затрудняет сопоставление методов расчета.

На имеется единого мнения о влиянии конусности на несущую способность свай (Дмоховский В.К., Пресс Х., Прудентов А.И., Боженков С.Я. и Бирюков А.А., Голубков В.Н., Васильев Б.Д., Хамов А.П. и Игонькин Н.Т., Минцовский М.Ш.). При этом наличие уплотненной

зоны во многих работах в расчет не принимается.

Опыты показали, что несущая способность свай-опор в замоченном грунте определяется взаимодействием уплотненной и деформируемой зон. Границы зон при нагрузках вплоть до критической практически совпадают.

Вертикальное напряжение в основании по оси свай-опоры определяется по формуле Кéxdl Á. Формула получена для вычисления напряжений по оси круглого горизонтального диска, находящегося внутри упругого полупространства и нагруженного равномерно распределенной нагрузкой q . Для свай-опор этот диск диаметром $D^y = 2R_T$ находится на глубине H_T от поверхности (см. гл. 2 и 3). Формула Кéxdl имеет вид

$$\sigma_x = \frac{1,5}{1-\mu} \left\{ \frac{1-2\mu}{6} x_1 \left(\frac{1}{R_{o2}} - \frac{1}{R_{o1}} - \frac{1}{x_2} + \frac{1}{x_1} \right) + 0,167 - \frac{x_1^3}{6R_{o1}^3} + \right. \\ \left. + \left[\frac{3-4\mu}{2} x_2 - H_1(1-2\mu) \right] \left(\frac{1}{3x_2} - \frac{x_2^2}{3R_{o1}^3} \right) - H_1 x_1 \left(\frac{x_2^2}{R_{o2}^3} - \frac{1}{R_{o2}^3} \right) \right\} q \quad (II)$$

где R_T и H_T - радиус и глубина заложения диска от поверхности, м;
 x - расстояние от поверхности до точки, в которой определяются напряжения, м;

$$x_1 = x - H_1; \quad R_{o1} = \sqrt{R_1^2 + x_1^2};$$

$$x_2 = x + H_1; \quad R_{o2} = \sqrt{R_1^2 + x_2^2};$$

μ - коэффициент Пуассона, равный 0,35;

q - равномерно распределенная нагрузка по площади диска, тс/м².

Величина нагрузки на свай-опору (в тс) вычисляется по формуле

$$P = q \cdot \pi R_1^2 \quad (I2)$$

Расчеты показали, что для всех свай-опор суммарное вертикальное напряжение от внешней нагрузки и собственного веса грунта и сваи достигает на нижней границе деформируемой зоны по ее оси о д н о й определенной величины, близкой: давлению набухания $P_{наб} = 9,1$ тс/м² - при нагрузке на пределе пропорциональности; начальному просадочному давлению $P_H = 11,5$ тс/м² - при критической нагрузке.

$P_{наб}$ и P_H определяются по результатам компрессионных испытаний в лабораторных условиях на основе формулы (I) (гл. II).

В табл. 4 дано сравнение результатов расчета с опытными данными испытаний свай-опор и фундамента в вытрамбованном котловане.

Таблица 4

№ пп	Наименование фундамента	Предел пропорциональности, тс		Критическая нагрузка, тс		Примечание
		по опыту	по расчету	по опыту	по расчету	
1.	Свая-опора Ф1-4	52,9	47,8	78,7	71,5	Опыты Крутова В.И. и Власова Ю.В.
2	Свая-опора Ф2-4	50,0	44,9	62,5	65,5	
3	Свая-опора Ф3-4	51,5	48,0	63,9	65,4	
4	Фундамент-вытрамбовка (Д=1,5 м, Н=1,1 м, $\varphi_2=25^\circ$, $P_H=1,2$ тс/м ²)	80	x/	90	96,4	

x/ Величина нагрузки не определена ввиду отсутствия данных о $P_{наб}$.

Нормы проектирования фундаментов на просадочных грунтах для определения напряжений в основании используют положения СНиП II-B. I-62^x. Возможная просадка подсчитывается в пределах всей просадочной толщи до глубины "среднегодового уровня грунтовых вод или до кровли слоя грунта с относительной просадочностью $\delta_{\text{пр}} < 0,01$ при дав-

лении ρ_i ". Опыты со сваями-опорами подтверждают возможность их интерпретации на основе общепринятых положений.

В первом уровне, в пределах уплотненной зоны просадка не происходит ($\gamma_{ск} > 1,5-1,55 \text{ т/см}^3$); осадка вызывается действием только внешней нагрузки. Во втором уровне, до глубины приведенной деформируемой зоны H_a^1 (но ниже первого уровня) имеют место просадки от совместного действия внешней нагрузки и собственного веса грунта.

В пределах I-го уровня осадка каждого слоя определялась по формуле

$$S_i = a_{oi} h_i \varepsilon_i, \quad (I3)$$

где a_{oi} - коэффициент относительной сжимаемости

$$a_{oi} = \frac{a_i}{1 + \varepsilon_i} \quad (I4)$$

Коэффициент уплотнения $a_i = f(\varepsilon_i)$ принят по табличным данным для аллювиальных водонасыщенных грунтов четвертичного периода (Михеев В.В. и Игнатова О.И.).

Просадки во II уровне подсчитывались в соответствии с формулой (I) зависимости относительной просадочности от давления для глубины 2-4 м.

Чтобы упростить вычисление напряжений по глубине основания, формула (II) аппроксимировалась функцией вида

$$\varepsilon_z = \frac{q}{1 + m z^n} \quad (I5)$$

где m и n - параметры, зависящие от формы, размеров свай-опоры и характеристик грунта.

Расхождение величин напряжений по формулам (II) и (I5) не превышало 7%.

Результаты расчета основания свай-опор по деформациям при наг-

рузке на пределе пропорциональности приведены в табл.5. Опытные данные приняты средними из 2-х испытаний свай-опоры каждой формы.

Таблица 5

№ пп	Наименование свай-опоры	О с а д к а , см	
		по опыту	по расчету
I	Свая-опора ФI	2,4	2,0
2	Свая-опора Ф2	2,7	2,6
3	Свая-опора Ф3	4,8	5,3

Приведенная схема расчета правомерна, пока зависимость перемещений от нагрузки близка к линейной. После предела пропорциональности линейность нарушается. Однако определение осадок (просадок) можно произвести в о в с е м диапазоне нагрузок, вплоть до критической. Для этого используется графический способ расшифровки результатов испытаний (гл.Ш).

П я т а я г л а в а посвящена вопросам внедрения свай-опор в практику строительства. Приводится технико-экономическое сравнение различных вариантов фундаментов для экспериментального объекта в г.Каховке Укр.ССР и практические рекомендации по устройству свай-опор.

Эффективность вариантов определялась по методике НИИ экономики строительства Госстроя СССР, в которой основным и решающим показателем являются приведенные затраты. При сравнении за исходный был принят вариант нулевого цикла, данный проектной организацией - столбчатые фундаменты на уплотненном тяжелыми трамбовками основании. Наиболее эффективными получились монолитные фундаменты из свай-опор в выштампованном ложе (дешевле исходного варианта на 42%), наименее - набивные армобетонные сваи (дороже исходного варианта на 71%). Вариант с грунтовой подушкой толщиной 4 м оказался на II ме-

сте, что подтвердило ранее высказывавшееся мнение о целесообразности устройства грунтовой подушки под фундаментами в грунтовых условиях I-го типа по просадочности. Вариант проектной организации, наиболее распространенный в практике, оказался на IV месте. Из диаграммы структуры затрат по вариантам видно, что в забивных железобетонных сваях монолитный ростверк составляет 39% от общей стоимости фундамента. При нагрузках меньше 30 т, когда ростверк мал или отсутствует, свайные фундаменты оказываются эффективнее столбчатых на 3-12%. Таким образом, в зависимости от величины нагрузки на фундамент сравнительная эффективность вариантов меняется даже для одного и того же района строительства.

Условия сравнимости вариантов по приведенным затратам не учитывают разницу осадок равнонагруженных фундаментов, которая в просадочных грунтах может оказаться решающим фактором. Просадки, в отличие от осадок обычных грунтов, происходят внезапно и возможность их проявления имеет место в течение всего периода эксплуатации сооружения. В порядке постановки вопроса изложены основные принципы количественного учета различий в осадках при технико-экономической оценке фундаментов.

Чтобы придать конкретность освещаемому вопросу, произведено ориентировочное сравнение свай-опор двух форм - ФI и ФЗ под нагрузкой на пределе пропорциональности. Эти свай-опоры имеют одинаковый объем бетона, процент армирования и близкий по величине предел пропорциональности. Сравнение показало, что с учетом разницы в осадках приведенные затраты для ФЗ увеличились на 6%.

Так как объект в г.Каховке был включен в народнохозяйственный план экспериментального строительства на 1969-1970 г.г., появилась необходимость в конкретных проектно-производственных рекомендациях. В проектном задании, выполненном в НИИ основании, были даны принци-

пиальные решения сопряжения свай-опор с типовыми надфундаментными конструкциями разного типа зданий - каркасных и бескаркасных. При этом никаких изменений в типовых конструкциях не требовалось.

Рабочие чертежи и сметы экспериментального объекта выполнялись отделом свайных фундаментов треста "Укрорттехсельстрой" (г.Киев), проект организации работ - проектным бюро "Каховорттехсельстрой" (г.Н.Каховка). Все нормативы для проектной документации взяты по фактическим данным экспериментов со сваями-опорами, проводившихся на опытной площадке. Выполнение всех видов работ предусмотрено механизированным.

В ы в о д ы

На основе проведенных исследований свай-опор в грунтовых условиях I-го типа по просадочности можно сделать следующие основные выводы:

1. Свай-опоры в выштампованном ложе является **н о в ы м** индустриальным видом фундаментов. Они занимают промежуточное положение между короткимиися сваями и отдельно стоящими фундаментами на предварительно уплотненном основании.

2. Устройство ложа -свай-опор методом выштамповывания сопровождается образованием уплотненной зоны. Наибольшая эффективность уплотнения достигается при оптимальной влажности грунта; последняя зависит от формы свай-опоры. Требуемое количество ударов для выштамповывания определяется по параметру Δ_n , представляющему отношение приращения объема ложа к приращению его поверхности. Дан с п о - с о б п о с т р о е н и я уплотненной зоны с учетом формы и размеров свай-опоры и простейших физико-механических характеристик грунта основания.

3. Опыты показали, что осадки свай-опор на пределе пропорциона-

ности составляют в замоченном просадочном грунте 1,7-5,6 см. т.е. меньше предельно-допустимых осадок для большинства зданий и сооружений. Критическая нагрузка в опытах превышает предел пропорциональности в 1,25-1,5 раза. Предложен способ расшифровки графика $S=f(p)$, позволяющий определить предел пропорциональности и критическую нагрузку не визуально, а путем графического построения.

4. Анализ развития осадок свай-опор по ступеням нагрузок позволяет выделить 2 уровня перемещений. Осадки штампа обусловлены перемещениями слоев в пределах уплотненной зоны и ниже ее - в зависимости от вида нагрузки (собственный вес грунта, дополнительное давление). До нагрузок, близких к критической, границы деформируемых зон незначительно выходят за границы зон уплотнения. Показана необходимость учета последующего развития осадок во времени.

5. Дан способ расчета свай-опор в замоченном просадочном грунте по несущей способности и по деформациям на основе характеристик, получаемых в лабораторных условиях. Несущая способность определяется с использованием размеров деформируемой зоны основания и начального просадочного давления грунта. В расчете по деформациям за основу приняты зависимость относительной сжимаемости грунта от пористости и зависимость относительной просадочности от давления (гл.2).

Оптимальная форма и размеры свай-опоры зависят от инженерно-геологических условий площадки и могут быть установлены сопоставительными расчетами на ЭВМ по программе, прилагаемой к диссертации.

6. Техничко-экономическое сравнение свай-опор с другими видами фундаментов, произведенное по методике НИИЭС для экспериментального объекта в г.Каховке, показало высокую эффективность свай-опор.

Предложен способ учета влияния разницы в осадках равнонагруженных фундаментов на величину приведенных затрат. Результаты исследований позволили выполнить рабочую привязку и внедрение свай-опор на строительстве полносборного 3-х этажного здания в г.Каховке Укр.ССР.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД. Определение плотности лессового грунта методом динамического микровондирования. Сб."Основания, фундаменты и подземные сооружения". Тр.ІУ конференции молодых научных работников НИИОСП, М-1968.
2. И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД. Оценка устройства ложа свай-опор с помощью "отказа". Тр.КИСИ, К-1970.
3. И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД. Оценка результатов испытаний свай на основе развития осадок во времени. Сб."Архитектура и строительные конструкции промаданий". УралпромстройНИИпроект, Свердловск-1970.
4. И.Д.БЕСПАЛЫЙ, А.А.ГРИГОРЯН, И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД. Новый тип короткой свай-опоры. Ж."Сельское строительство" № 2, К-1969 (на укр.яз).
5. А.А.ГРИГОРЯН, И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД. Новый вид фундамента - свая-опора в выштампованном ложе. Сб."Архитектура и строительные конструкции промаданий". УралпромстройНИИпроект, Свердловск -1969.
6. А.А.ГРИГОРЯН, И.Д.БЕСПАЛЫЙ, И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД, Д.И.БОЖКОВА, Б.А.СИНЬКО. Техничко-экономическое сравнение вариантов фундаментов в просадочных грунтах. Ж."Сельское строительство" № 10, К-1969 (на укр.яз).
7. А.А.ГРИГОРЯН, И.З.ГОЛЬДФЕЛЬД. Несущая способность свай-опор в выштампованном ложе в просадочном грунте. Сб.докладов и сообщений на Всесоюзному совещанию по основаниям и фундаментам, К. (в печати):

8. А.А.ГРИГОРЯН, И.З.ГОЛЬДФЕЛД. Свая-опора в выштампованном ложе. Сб. докладов и сообщений к Всероссийскому совещанию по сельскому строительству в г.Уфе (в печати).
9. И.З.ГОЛЬДФЕЛД, В.М.ЛИЦКОВСКИЙ. Специфика технико-экономической оценки фундаментов (учет различий в осадках). Ж. "Промышленное строительство и инженерные сооружения" № 6, К-1970.
10. И.З.ГОЛЬДФЕЛД, А.Л.МИНДИЧ. Обработка результатов статических испытаний фундаментов. Сб. "Архитектура и строительные конструкции промаданий". УралпромстройНИИпроект, Свердловск -1970.
11. А.А.ГРИГОРЯН, И.З.ГОЛЬДФЕЛД. Указания по проектированию и устройству конических свай-опор в выштампованном ложе из просадочного грунта СССР (I-я редакция), К-1970.

Л - 43548 подп.к печ. 29-1-71 Заказ № 68 Тираж 200 экз.

Отпечатано в Производственных экспериментальных мастерских
ЦИНИСа Госстроя СССР