

ТС-80

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР

Всесоюзный ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательский институт  
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова

На правах рукописи

КОВАЛЕВ Вячеслав Алексеевич

УДК 626.823.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА  
СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ ЛОТКОВЫХ КАНАЛОВ  
НА ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

(НА ПРИМЕРЕ ГОЛОДНОЙ И ДЖИЗАКСКОЙ СТЕПЕЙ)

Специальность 05.23.07 – гидротехнические сооружения

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 1983

Дорогому Абдукариму Касимовичу  
Большому специалисту и отличному геоло-  
ву, от старого учителя Габдулай  
Степи, но молодого ученика.

С уважением от автора *Шиф*

Работа выполнена в Среднеазиатском ордена Трудового Красного  
Знамени научно-исследовательском институте ирригации им. В. Д. Журина.

Научный руководитель - академик ВАСХНИЛ, доктор геолого-мине-  
ралогических наук И. Г. БАЛАЕВ

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
Н. И. КРИГЕР,

кандидат технических наук, доцент  
А. А. КИРИЛЛОВ.

Ведущее предприятие - Среднеазиатский ордена Трудового Красно-  
го Знамени Государственный проектно-инже-  
нерский и научно-исследовательский  
институт по ирригационному и мелиоратив-  
ному строительству им. А. А. Саркисова  
(Средазгипроводхлопок).

Защита состоится "19" января 1984 г. в 10 часов  
на заседании специализированного совета К 099.05.02 по присуждению  
ученых степеней Всесоюзного ордена Трудового Красного Знамени  
научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации  
им. А. Н. Костякова.

Адрес: 127550, г. Москва, ул. Большая Академическая, 44,  
ВНИИГТМ, специализированный совет К 099.05.02.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ВНИИГТМ.

Автореферат разослан "12" января 1984 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

С. Ш. Зюбенко

*В. Д. Жури*

ТС-80  
626.82

Актуальность темы. Вопросам обеспечения дальнейшего развития  
мелиорации земель на основе создания в различных зонах страны  
технически совершенных мелиоративных систем было уделено внимание  
на XXVI съезде КПСС, что нашло отражение в "Основных направлениях  
экономического и социального развития СССР на 1981-1985 гг. и на  
период до 1990 года".

В II пятилетке будет введено в эксплуатацию 3,5 млн. га ороша-  
емых земель. Примерно 25% этих земель находится на территориях,  
сложенных просадочными лессовыми грунтами, где затруднена эксплуа-  
тация всего комплекса ирригационных сооружений, особенно основно-  
го элемента внутрихозяйственной оросительной сети - лотковых ка-  
налов. Применяемые в настоящее время способы фундаментирования лотков-  
каналов с помощью стоечных опор, котлованы которых либо отрывают-  
ся, либо выштамповываются в грунтах оптимальной или природной  
влажности, не всегда обеспечивают их устойчивость на лессовых  
грунтах и часто требуют дополнительных работ по восстановлению  
продольного профиля лотков после просадок. В этих условиях выбор  
конструкций фундаментов лотков-каналов, позволяющих повысить  
уровень механизации работ при их строительстве и увеличить их  
эксплуатационную надежность, является весьма актуальной задачей.

Цель и задачи исследований - повышение эксплуатационной надеж-  
ности; сокращение сроков и стоимости строительства лотковых кана-  
лов и сетевых гидротехнических сооружений, возводимых на проса-  
дочных грунтах с мощностью толщи до 8 м, за счет использования  
свайных фундаментов; изучение процессов, имеющих место при погру-  
жении свай в грунт с использованием различных технологических  
приемов; выявление величин просадок лотковых каналов, построенных  
на стоечных и свайных опорах, по результатам 15-летних наблюдений.  
В связи с этим в задачу исследований входили: выбор конструкции  
свайных опор; определение несущей способности свай трех конструк-  
тивных видов (призматических, клиновидных и конусных набивных на  
вертикальную и горизонтальную нагрузки в лессовых просадочных  
грунтах); определение зависимости предельных сопротивлений лессо-  
вых просадочных грунтов от различных факторов и разработка мето-  
дики расчета несущей способности свайных фундаментов; отработка  
технологии устройства свайных фундаментов в рассматриваемых усло-  
виях; внедрение разработанных мероприятий в водохозяйственное  
строительство с соответствующим экономическим эффектом.

Методика исследований. Статические испытания свай производи-  
ли на площадках, расположенных близ проектируемых объектов в

аналогичных грунтовых условиях. Методика испытаний свай соответствовала ГОСТ 5686-51 "Сваи пробные. Методы испытаний". Погружение забивной или устройством набивной опытных свай осуществляли в грунте природной влажности. Свай испытывали в грунтах природной влажности и в водонасыщенных грунтах, имитирующих эксплуатационные условия сооружения. Сопротивление лессовых грунтов основания в плоскости нижних концов свай и по ее боковой поверхности определяли с помощью современной измерительной аппаратуры. Просадки лотковых каналов за многолетний период изучали путем периодического наблюдения за установленными на них маяками. Испытания проводили на нескольких опытно-производственных участках. Достоверность полученных результатов обусловлена многократной повторностью полевых опытов и оценена графо-аналитическим методом.

Научная новизна. Впервые экспериментально определена несущая способность забивных призматических, клиновидных, а также конусных набивных свай в лессовых просадочных грунтах Голодной и Джизакской степей, выявлены зоны распространения уплотнения грунта вокруг свай. Рассмотрено влияние покрытия битумной мастикой и замочки грунта на несущую способность свай. На основании материалов полевых исследований выбрана методика расчета свайных фундаментов лотковых каналов и сетевых гидротехнических сооружений на просадочных грунтах с мощностью толщи до 8 м. Установлены величины предельных сопротивлений лессовых грунтов под нижним концом свай и на ее боковой поверхности, что позволяет определять несущую способность свайных фундаментов и осадку различных элементов внутрихозяйственной оросительной сети в аналогичных грунтовых условиях. Разработана прогрессивная технология возведения лотков-каналов и сетевых гидросооружений с использованием свайных фундаментов.

Автор выносит на защиту следующие основные положения: рекомендации по выбору конструкций свайных опор лотковых каналов и конусных набивных свай для гидротехнических сооружений в лессовых просадочных грунтах; результаты статических испытаний свай и анализ процессов, происходящих при погружении их в грунт с использованием различных технологических приемов; предложение по расчету несущей способности свайных опор; прогрессивную технологию возведения указанных выше объектов на свайных фундаментах.

Практическая ценность. Результаты исследований использованы при обосновании выбора конструкций свайных опор под лотковые каналы и гидротехнические сооружения в процессе проектирования, а

технологический процесс и комплекс машин - при строительстве мелиоративных систем.

Апробация. Основные результаты диссертационной работы докладывались на заседании Научно-технического совета Министерства мелиорации и водного хозяйства УзССР (Ташкент, 1983), заседании Ученого совета секции гидромелиоративных работ САНИИРИ им. В.Д. Журина (Ташкент, 1983). Основные положения диссертации доложены в 1983 г. на заседании секции гидротехники и гидравлики Ученого Совета ВНИИГ им. А.Н. Костякова.

Публикации. По теме диссертации опубликовано пять работ, в которых отражено основное ее содержание.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований внедрены при строительстве лотковых каналов на объектах Голодной и Джизакской степей с экономическим эффектом 897,9 тыс. руб.

Объем работы. Диссертация изложена на III страницах машинописного текста, содержит 40 рисунков и 24 таблицы, состоит из введения, пяти глав, выводов, списка литературы, включающего 100 наименований и 6 приложений.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается общая характеристика работы, раскрывается ее цель, актуальность и научная новизна.

В первой главе "Устройство фундаментов лотковых каналов в строительстве. Анализ исследований и методик расчета свайных фундаментов на просадочных грунтах" дан обзор видов фундаментов лотковых каналов, используемых в условиях Голодной и Джизакской степей в сочетании с предварительным замачиванием и уплотнением грунтов. Приведен анализ литературных материалов и нормативных документов о свайных фундаментах в просадочных грунтах. Вопросы использования свай в просадочных грунтах посвящены работы многих советских и зарубежных ученых: С.М. Рака (1937), А.Д. Дранникова (1962), Г.Ф. Шишканова (1962), А.А. Кириллова (1963), А.А. Григорян (1964), В.А. Зурнаджи (1965), Ю.В. Дежина (1965), Д.А. Романова (1966), И.Г. Чарушникова (1966), В.М. Мамонова (1968), В.Н. Федорова (1970), В.И. Крутова (1970), А.А. Работникова (1970), Р.Б. Пека, У.Э. Хенсона, Т.Х. Тарнбурна (1958) и др. Эти работы, проводившиеся на лессовых грунтах в различных районах СССР, подтверждают возможность применения висячих свай на просадочных грунтах. Многочисленные исследования показали, что при замачивании слабо- и среднеспадочных грунтов с мощностью толщи до 8 м несущая спо-

способность сваи снижается на 15-60% и остается достаточно большой, чтобы воспринимать нагрузки от гидротехнических сооружений внутрихозяйственной оросительной сети. Анализ методик расчета свайных фундаментов, рекомендуемых нормативными документами, показал, что для рассматриваемого в работе случая за основу расчета могут быть приняты методики СНиП П-17-77 и ВСН П-23-75, которые не противоречат, а лишь дополняют одна другую. Согласно СНиП П-17-77 следует определять несущую способность сотен свай, а по ВСН П-23-75 - проводить расчеты деформаций. Однако для эффективного использования этих методик необходимо установить более дифференцированные величины сопротивлений грунта под нижними концами свай и по их боковой поверхности (в зависимости от плотности сложения грунта и его влажности) и выявить размеры свайно-грунтового фундамента, для которого будет осуществляться расчет осадки. Для решения этих вопросов необходимо провести испытания свай различных конструкций пробными нагрузками по методике, позволяющей получать данные о величинах каждого из указанных выше сопротивлений грунта, и установить зоны уплотнения грунта, формирующиеся вокруг свай при их погружении в лессовую толщу. Это и явилось одной из важнейших задач исследований, осуществленных в настоящей работе.

Во второй главе "Теоретическое обоснование целей и задач исследований" раскрываются особенности лессовых грунтов и природы их просадочности. Этим вопросам посвящены работы советских ученых: С.В.Быстрова (1936), Н.Я.Денисова (1946), И.И.Трофимова (1945), Л.С.Берга (1947), А.К.Ларионова (1959), Н.И.Кригера (1965, 1981), Г.А.Мавлянова (1958), Л.Г.Балаева (1960), А.А.Кирилова (1963) и др. Как показали исследования, для лессов характерны значительная пористость и повышенная уплотняемость при дополнительном увлажнении, что и затрудняет освоение орошаемых земель. Структурная прочность лессовых грунтов объясняется главным образом цементацией отдельных частиц солями, сцеплением за счет сил молекулярного притяжения, склеивания частичек коллоидами и в какой-то мере натяжением менисков капиллярной влаги в углах пор. Все эти связи довольно прочны при малой влажности, а при увлажнении грунта структурная прочность сильно изменяется. Первые порции поступающей в грунт воды быстро разрушают молекулярные связи и связи, создающиеся за счет склеивания коллоидами и частично - цементационные. Эти связи разрушаются довольно быстро, поэтому возникающая при поступлении в грунт воды деформация (просадка) развивается интенсивно. Увлажнение и уплотнение грунта вызывает

его набухание, интенсивность которого зависит от гранулометрического и минералогического состава лесса, его влажности и плотности. Определенное значение имеет и величина обжатия грунта, тормозящая развитие набухания и стимулирующая его уплотнение. Просадка и является суммарным выражением этих двух диаметрально противоположных по своей природе процессов, протекающих в грунте.

В зависимости от значимости для данного вида грунта того или иного явления лессы подразделяются на сильно-, средне-, слабо-просадочные и непросадочные. Правда, при делении лессовых грунтов на просадочные и непросадочные необходимо знать параметры возводимых на них сооружений. Для легких сооружений, периодически увлажняющих грунт, некоторые толщи лессов оказываются практически непросадочными, а под тяжелыми сооружениями, интенсивно замачивающими основание, просадка толщ может превышать допустимую для данного объекта величину. Другой особенностью процесса является различный характер развития деформации по времени. Такой сложный процесс, зависящий от разнообразных факторов, естественно, не может проявиться в любых природных условиях с одной и той же скоростью. Наоборот, у различных типов лессовых отложений следует ожидать различного в деталях характера его проявлений, что и имеет место в действительности. В этих условиях нецелесообразно весь процесс уплотнения лессов объединять в одно целое, лучше выделить в этом сложном комплексном явлении отдельные виды деформации, имеющие свои особенности и специфику. Четко выделяется первый вид деформации лессов - уплотнение грунта (осадка) под влиянием увеличивающегося давления при неизменной влажности, проявляющийся в период строительства. Деформация второго вида - уплотнение лессовых грунтов при совместном воздействии нагрузки и увлажнении - просадки - развивается при замачивании и вводе сооружения в эксплуатацию, когда в основание сооружения поступают первые порции воды. Проявляются просадки быстро и являются наиболее опасными для сооружения деформациями. Вслед за просадкой на объектах, под которыми имеется постоянная или длительная фильтрация воды, начинается развиваться третий вид деформации - послепросадочное уплотнение. Эти деформации характерны для грунтов сильнопросадочных; в слабо- и среднепросадочных грунтах с пониженной пористостью величина их незначительна, а иногда они вообще не проявляются.

Для каждого из экспериментальных участков определены основные характеристики лессовых грунтов и установлено, что на площадке

в совхозе № 13 грунты относятся к I типу по просадочности, а на площадке в поселке "Зарбдар" величина просадки составляла 22-27 см.

Испытания свай пробными нагрузками в условиях натурального эксперимента сначала были проведены по ускоренной методике в незамоченном грунте. Затем осуществлялось замачивание грунта с доведением степени его влажности до 0,85. В замоченном грунте каждая свая была испытана дважды - по стандартной и по ускоренной методикам. При испытании по стандартной методике свая на каждой ступене выдерживалась до условной стабилизации осадки, составляющей 0,1 мм за последние 2 ч наблюдений. Испытание продолжалось до достижения свай осадки 60 мм - предельно допустимой для лотковых каналов. Осадки свай замерялись по двум прогибомерам Максимова с точностью 0,1 мм.

В третьей главе "Экспериментальные исследования по определению несущей способности призматических, клиновидных и конусных набивных свай на вертикальную и горизонтальную нагрузки в полевых условиях" изложены результаты исследований по выбору конструкции и отработке технологии устройства опытных свай, а также итоги их статических испытаний. Всего на двух опытных площадках было проведено 27 опытов с двукратной повторностью. Кроме того, в течение 15 лет велись наблюдения за деформациями лотковых каналов, построенных на стоечных опорах (9 км) и свайных фундаментах (16,6 км).

Призматические сваи забивали в грунт природной влажности штанговым дизель-молотом (масса ударной части 1800 кг), смонтированным на базе трактора Т-100М. Для раздельного определения сопротивления грунта под нижним концом и по боковой поверхности все опытные сваи были оборудованы тензодинамометрами. При каждом испытании определяли влажность грунта вблизи сваи. Характерный график испытаний несущей способности сваи представлен на рис. I. Величины частных значений предельного сопротивления определены по графикам испытаний несущей способности свай по стандартной методике в соответствии с рекомендациями СНиП II-17-77 и сведены в табл. I.

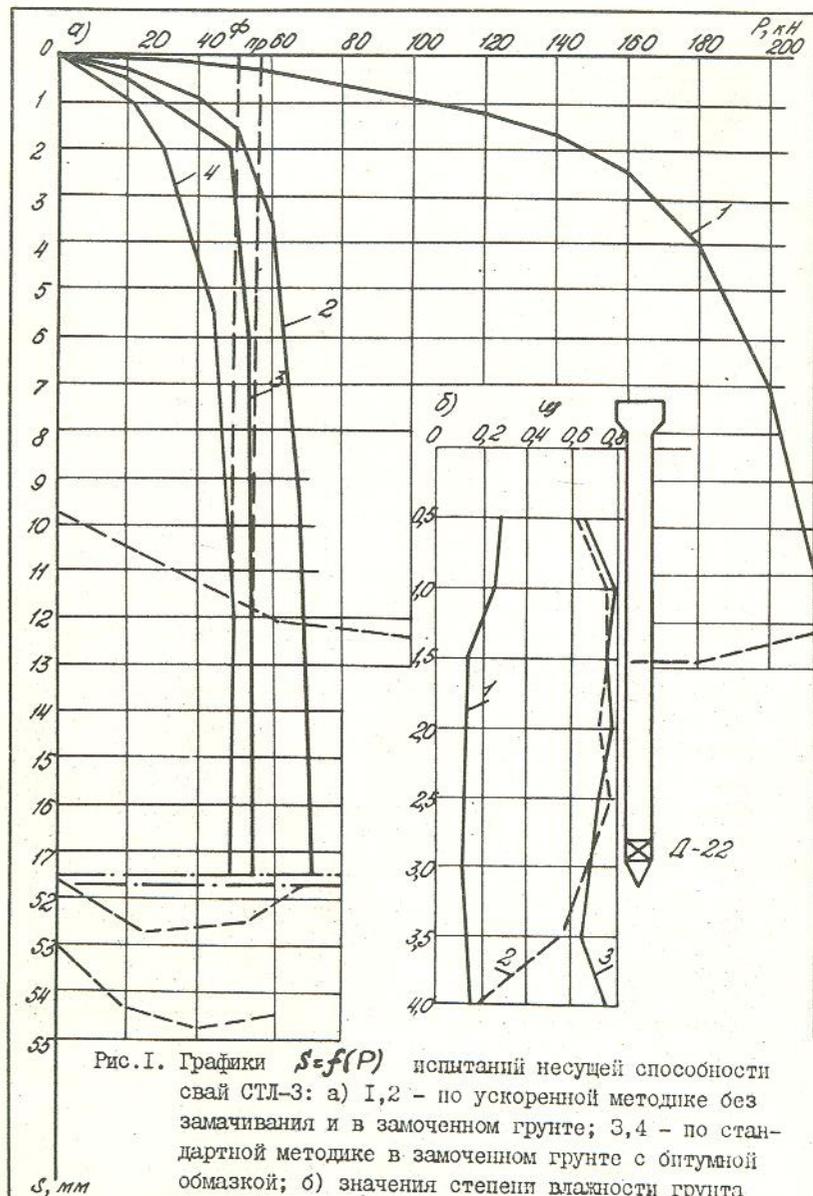


Рис. I. Графики  $S=f(P)$  испытаний несущей способности свай СТЛ-3: а) 1,2 - по ускоренной методике без замачивания и в замоченном грунте; 3,4 - по стандартной методике в замоченном грунте с битумной обмазкой; б) значения степени влажности грунта по глубине

Таблица I

Величина несущей способности призматических свай

№ свай	Длина свай в грунте, м	Несущая способность свай $\phi$ , кН
2I	3	61
4	3,5	68
22	4	75
23	4,5	82
5	5	87

В процессе эксплуатации лотковых каналов на фундаментах периодически действуют горизонтальные, преимущественно ветровые нагрузки. Для определения несущей способности свай на восприятие горизонтальной нагрузки были проведены испытания трех свай в предварительно замоченном грунте на опытной площадке 2. В качестве испытываемых свай были использованы производственные сваи под лотки длиной 4,0 м. Нагрузка на сваи прикладывалась на высоте 45 см от поверхности грунта. Горизонтальные перемещения измеряли на уровне приложения нагрузки прогибомером Максимова, закрепленным на свободной анкерной опоре. Результаты испытаний приведены на рис.2. С увеличением горизонтальной нагрузки происходит плавное нарастание перемещений. Несмотря на то, что перемещения свай достигли 50–80 мм, они не разрушились, происходил поворот свай в замоченном грунте и отход их от грунта на расстояние до 50 мм.

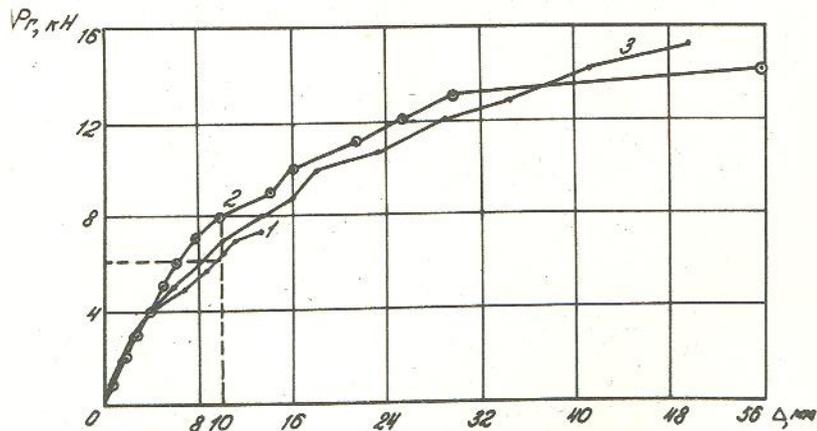


Рис.2. Графики  $\Delta = f(P)$  испытаний свай на горизонтальную нагрузку. 1, 3 - по стандартной методике; 2 - по ускоренной методике

Несущая способность свай в просадочных грунтах в значительной мере зависит от уплотнения грунта вокруг свай в процессе ее забивки. Для выявления зон уплотнения определяли плотность и влажность грунта после погружения в него свай и изменение прочностных и деформативных показателей грунта. Общая картина уплотнения грунта при забивке призматической свай характеризуется нарастанием радиуса зоны уплотненного грунта по глубине. В верхней части сваи радиус влияния равен 10–15, в нижней части – 35–40 см. Наибольшая зона уплотнения грунта располагается под острием свай, где она достигает 1,5 м. Исследования показали, что просадочные свойства грунтов в зоне уплотнения полностью устранены. Динамическое уплотнение лессовых просадочных грунтов вызывает в них нарушение "истинного сцепления" (по И.Я.Денисову).

В процессе производственных испытаний (1966–1983 гг.) в Голодной и Джизакской степях построено более пяти тысяч лотков на свайных фундаментах. Результаты их нивелирования говорят о большей надежности этих опор по сравнению со стоечными.

Клиновидные сваи позволяют создать еще более экономичную конструкцию забивной свай под лотки глубиной 100 см. Ее размеры в голове 45x20 см (опорная поверхность под лотки осталась такой же, как и у призматических свай) и 20x20 см в нижнем конце. Свая имеет две плоские и две наклонные грани. Длина ее 3,5 м, обег наклонных граней начинается на расстоянии 0,4 м от верхнего конца сваи, угол наклона граней составляет  $2^{\circ}20'$ . График испытаний несущей способности клиновидной сваи показан на рис.3. Нормативное значение предельного сопротивления клиновидной сваи по результатам испытаний  $\phi_{np}^H = 183$  кН, т.е. даже несколько больше, чем у призматической. Под нижним концом  $\phi_a^H = 20$  кН, а  $\phi_r^H = 163$  кН.

Конусные набивные сваи при примерно тех же затратах материалов воспринимают еще больше нагрузки, чем призматические и клиновидные. Перспективы применения этих свай в рассматриваемых условиях весьма благоприятны для повышения надежности работы сетевых гидротехнических сооружений и лотковых каналов, монтируемых непосредственно на поверхности грунта. Для устройства скважин использовали конусный сердечник, представляющий собой металлическую оболочку в форме усеченного конуса длиной 3,89 м, диаметром в верхнем конце 475, в нижнем – 275 мм. К оболочке снизу приваривается восьмигранный кожух в виде усеченной пирамиды. Конусный сердечник изготовлен из листовой стали толщиной 5 мм. Внутри

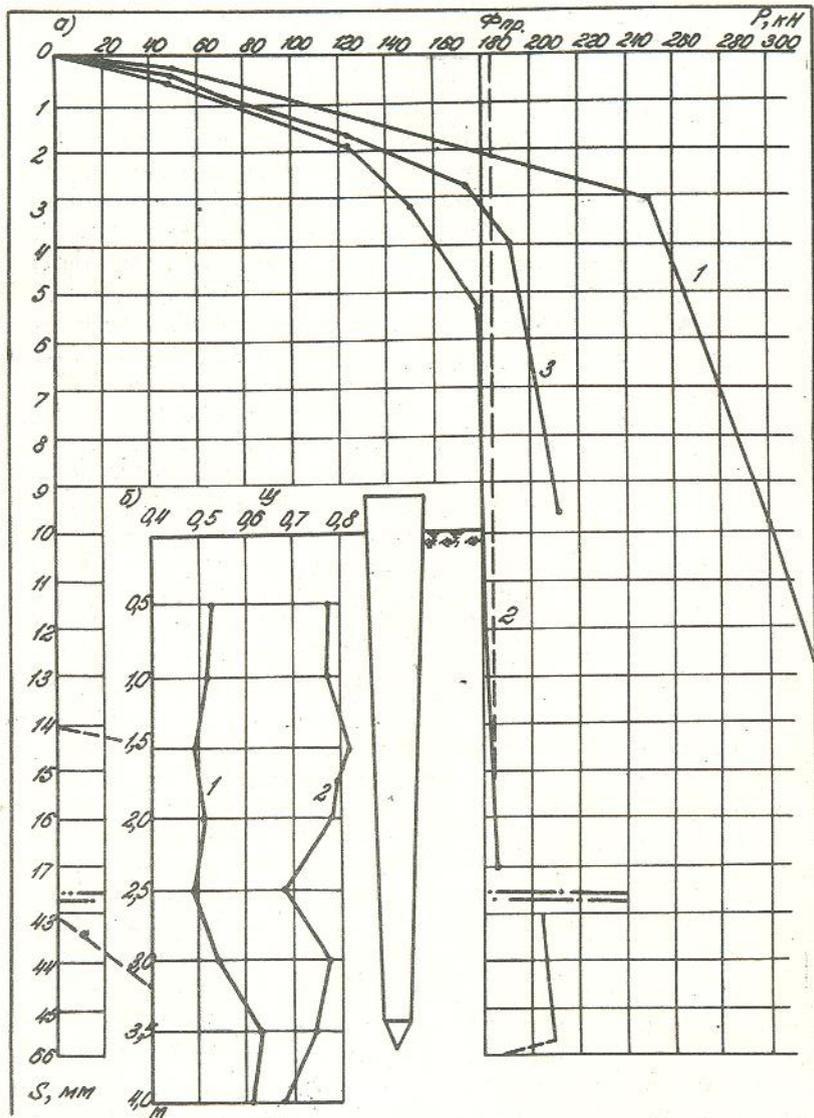


Рис. 3. Графики  $S=f(P)$  испытаний несущей способности клиновидной свай: а) 1 - по ускоренной методике без замачивания; 2, 3 - по стандартной и ускоренной методикам в замоченном грунте; б) значение степени влажности грунта  $G$  по глубине

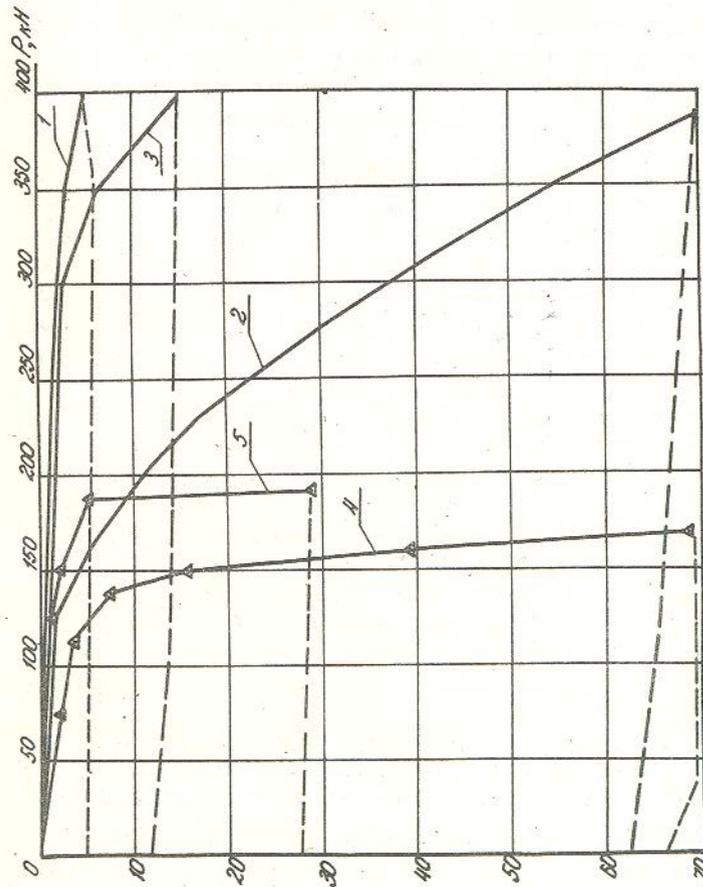


Рис. 4. Графики  $S=f(P)$  испытаний несущей способности набивной (№ 7), забивной (№ 11) свай: а) 1 - по ускоренной методике свай № 7 в грунте природной влажности; 2, 3 - по стандартной и ускоренной методикам свай № 7 в замоченном грунте; 4, 5 - то же для свай № 11; б) значения степени влажности грунта  $G$  по глубине

оболочки вставлен арматурный каркас длиной 4 м и дополнительно усиленный в голове отрезком двутавра номер 10 длиной 0,8 м. В верхнюю часть сердечника вмонтирован отрезок рельса высотой 14, длиной 70 см, в выступающие концы которого упирались головы домкратов при отрыве сердечника от грунта. Оболочка в вертикальном положении была заполнена бетоном марки 300. Общая длина сердечника 5,45 м, угол конусности  $1^{\circ}35'$ . Минимальный шаг устройства конусных набивных свай равен 1 м. На площадке 2 было опробовано также погружение сердечника с использованием лидерных скважин, заполненных водой. Подсчет ударов показал, что время на погружение сердечника сокращается в 4 раза. Затем производят отрыв сердечника от грунта с помощью двух домкратов ДД-50. Усилие в процессе извлечения сердечника достигает максимальных значений при перемещениях 80-100 мм. Дальнейшее извлечение сердечника осуществляли автокраном.

Для заполнения скважины использовали бетон марки 200 с осадкой 4-12 см. Всего на опытной площадке было изготовлено 9 конусных свай. Полученные при этом результаты показывают, что рекомендуемая технология устройства конусных набивных свай отличается сравнительной простотой, предопределяет высокое качество изготовления свай и может быть рекомендована для широкого применения при строительстве на просадочных грунтах. Опытные сваи через 5,5 месяца после изготовления были испытаны вертикальной нагрузкой. Результаты этих опытов показаны на рис.4 и в табл.2.

Таблица 2

Величина несущей способности конусных набивных свай

№ свай	Длина свай в грунте, м	Несущая способность свай $\Phi$ , кН
15	4,0	154
4	4,68	176
7	4,72	211
10	5,00	240

В четвертой главе "Анализ результатов экспериментальных работ" предложены рекомендации по расчету свайных фундаментов.

Расчетную нагрузку висячей забивной свай рекомендуется определять по формуле

$$P_{cb} = \frac{m}{k_n} (R''_F + m_s \sum_1^n U_i l_i f_i''), \quad (I)$$

где  $m$  - коэффициент условий работы свай равный 1;  $k_n$  - коэффициент надежности равный 1,4;  $F$  - площадь поперечного сечения нижнего конца свай;  $U_i$  - средний наружный периметр свай в расчетном сечении;  $l_i$  - толщина  $i$ -го расчетного слоя грунта;  $R$  - расчетное сопротивление грунта под нижним концом свай, определяемое по табл.3;  $f_i''$  - расчетное сопротивление  $i$ -го слоя грунта по боковой поверхности свай, определяемое по табл.4;  $m_s$  - коэффициент, учитывающий влияние битумной обмазки свай, принимаемый для свай с битумной обмазкой 0,7, без битумной обмазки - 1.

Анализ результатов исследований показал, что величины предельных сопротивлений лессовых грунтов под нижним концом ( $R''$ ) и по боковой поверхности свай ( $f''$ ) зависят от пористости грунта, степени его влажности ( $G$ ) и глубины погружения свай. Для рассматриваемых условий при  $G = 0,85$  и более полученные по материалам полевых экспериментов значения этих характеристик сведены в табл.3-4.

Таблица 3

Значения нормативных сопротивлений лессовых грунтов под нижними концами свай

Глубина погружения свай, м	Нормативное сопротивление $R''$ , МПа, при средней пористости грунта под нижним концом свай, %		
	47	49	51
3,0	0,65	0,45	0,22
4,0	0,80	0,60	0,30
5,0	1,00	0,75	0,45

Таблица 4

Значения нормативных сопротивлений лессовых грунтов по боковой поверхности призматических свай

Глубина расположения середины слоя грунта, м	Нормативное сопротивление $f''$ , МПа, при средней пористости слоя $n$ , %		
	47	49	51
1,0	0,13	0,1	0,07
2,0	0,15	0,12	0,09
3,0	0,17	0,14	0,11
4,0	0,19	0,16	0,13

По результатам раздельных определений сопротивлений под нижними концами и по боковой поверхности опытных свай, оборудованных динамометрами, получены величины сопротивления  $R^H$  и  $f^H$  при различных значениях  $G$ . Полученные данные были обработаны методом наименьших квадратов, что позволило установить следующие зависимости между этими характеристиками

$$R = R_{cp} \frac{G}{3,75G - 1,5}; \quad (2)$$

$$f = f_{cp} \frac{G}{2,4G - 0,9}; \quad (3)$$

где  $R_{cp} = 1$  МПа и  $f_{cp} = 0,23$  МПа - средние значения полученных в опытах предельных сопротивлений. Коэффициент корреляции для обеих формул равен 0,94, что указывает на тесную связь между величинами  $R$ ,  $f$  и  $G$ . Пределы применимости формулы (2) -  $0,47 \leq G \leq 0,85$ , а формулы (3) -  $0,6 \leq G \leq 0,85$ .

В процессе экспериментов установлено, что у клиновидных и конусных свай, сопротивление лессовых грунтов по их боковой поверхности на 30-50% больше, чем у призматических. Это позволяет при определении расчетной нагрузки на эти сваи использовать данные табл.4, увеличивая расчетную величину  $f_c^H$  на 30%.

Расчет по деформациям для свайных фундаментов в рассматриваемых условиях производят в соответствии с указаниями ВСН П-23-75 со следующими уточнениями его. Значительное уплотнение грунта вокруг сваи и под ее острием в процессе забивки позволяет осуществлять расчет как для свайно-грунтового фундамента глубиной и с площадью подошвы  $\Omega = \pi z$  ( $z$  - радиус площади, по которой возникают напряжения от нагрузки на сваю). В процессе полевых экспериментов установлено, что за счет значительных динамических воздействий, имеющих место при забивке свай, уплотненный грунт, непосредственно примыкающий к ней, практически не деформируется при статических нагрузках, передаваемых от лотков-каналов и типовых сетевых гидротехнических сооружений. Это позволяет принимать глубину заложения свайно-грунтового фундамента от поверхности грунта равной

$$l_0 = l_c + l_y, \quad (4)$$

где  $l_c$  - длина забивной части сваи;  $l_y$  - мощность уплотненного слоя грунта под острием сваи, практически не деформирующегося в рассматриваемых условиях (для свай длиной 3; 4 и 5 м  $l_y = 0,5$ ; 0,6 и 0,7 м).

Радиус площади, по которой передаются нагрузки на грунт от свайно-грунтового фундамента, рекомендуется определять по выражению

$$z = (l_c + l_y) \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где  $\alpha$  - угол рассеивания направлений в уплотненном грунте, принимаемый для грунтов I типа по просадочности равным  $7^\circ$ , а для грунтов с величиной просадки при природном давлении до 25 см -  $5^\circ$ .

Дополнительную нагрузку ( $P_{см}$ ), под влиянием которой проявляются деформации лессовой толщи, расположенной ниже острия сваи, получают как частное от деления величины  $P_c b$  на площадь свайно-грунтового фундамента ( $\Omega$ ).

Величину деформаций гидротехнических сооружений, построенных с использованием свайных фундаментов, определяют по формуле

$$S = S_p + S_{pw} + S_{wt} \quad (6)$$

где  $S_p$  - осадка сваи от нагрузки  $P_{см}$ , определяемая как для обычного фундамента, в соответствии с указаниями СНиП П-17-77;

$S_{pw}$  - просадка слоев грунта, расположенных ниже острия свай, определяемая по ВСН П-23-75 (раздел 3);  $S_{wt}$  - послепросадочное уплотнение грунта, не имеющее место из-за кратковременности увлажнения лессовой толщи под лотками-каналами и определяемое по ВСН П-23-75 (раздел 3 для гидротехнических сооружений).

Определив  $S$ , сравнивают ее с допустимой величиной деформации, принимаемой равной по табл.3 ВСН П-23-75 для лотков-каналов 6 см, а для сетевых гидротехнических сооружений - 10 см. Если это требование выполняется, длины свай подобраны правильно. Отметим, что указанное положение возможно и для лессовых толщ, мощность которых превышает 8 м, что расширяет область применения рассматриваемого предложения.

В пятой главе "Рекомендации по технологии устройства свайных фундаментов лотковых каналов и конусных набивных свай под гидротехнические сооружения в просадочных грунтах" приведены результаты полевых экспериментов и многолетних натуральных наблюдений за гидротехническими сооружениями, построенными на свайных фундаментах, подтверждающие их надежность и экономичность; на основании этих данных предложены прогрессивные технологии строительства сооружений.

Строительство лотковых каналов должны осуществлять специализированные подразделения водохозяйственных организаций комплекс-

но-механизированным способом с использованием технологического комплекса машин (грейдер, сваебойный агрегат, автокран). Работы должны вести поточно-комплексные производственные единицы (бригады): забивку свай выполняет звено сваебойного агрегата (2 чел.), монтаж лотков — звено из 3 чел. Состав и последовательность технологических операций: вынос и закрепление лоткового канала на местности и установка реперов; планировка трассы лоткового канала; обеспечение строительства лотками, сваями и деталями сооружений; забивка свай; контроль положения свай; монтаж лотков и сооружений; маркировка лоткового канала; подготовка лоткового канала к сдаче.

Сетевые сооружения на просадочных грунтах рекомендуется возводить, используя конусные набивные сваи, что исключает недопустимые по величине просадочные деформации рассматриваемой толщи. Состав и последовательность технологических операций следующая: горизонтальная и вертикальная привязка к местности; установление размеров котлована понизу и поверху, перенос плана в натуру с указанием размера основных осей, абсолютных отметок дна и бровок; назначение уклона и размеров откосов, берм и подземных путей; забивка сердечника; его извлечение; покрытие стенок битумной мастикой; укладка бетонной смеси в скважину, подготовленную сердечником.

Экономический эффект от использования при строительстве лотковых каналов свайных фундаментов подсчитан по формуле (3) СН 509-78. За базу сравнения принята технология строительства лотковых каналов на стоечных опорах. Для освоения целинных земель промышленность Узбекистана (в системе Главсредазирсовхозстрол) поставляет строительству 120 тыс. лотков. Экономический расчет показывает, что в результате внедрения достигнуты следующие экономические показатели (на 1 км): годовой экономический эффект — 4,4 тыс. руб.; снижение себестоимости строительно-монтажных работ на 3,7 тыс. руб.; повышение производительности труда более чем на 180 %.

## ВЫВОДЫ

I. До последнего времени строительство лотковых каналов на просадочных грунтах осуществляли с помощью стоечных опор, а для ликвидации повышенных деформаций лессовых грунтов использовали выштамповывание котлованов и предварительное замачивание грунта

с доуплотнением поверхностных слоев тяжелыми трамбовками. Это значительно снижало темпы строительства оросительной сети, увеличивало его стоимость, требовало использования малопроизводительного ручного труда и часто не обеспечивало должной эксплуатационной надежности лотковых каналов.

2. Предложено использовать при строительстве лотковых каналов и сетевых гидротехнических сооружений на лессовых грунтах мощностью до 8 м свайные фундаменты из призматических, клиновидных и конусных набивных свай, что позволит повысить эксплуатационную надежность, сократить сроки и стоимость строительства, полностью механизировать процесс возведения указанных выше элементов оросительной сети.

3. Детально изучена работа свайных фундаментов, создаваемых с использованием указанных выше типов свай; в результате многолетних наблюдений (15 лет) за деформациями лотковых каналов на просадочных грунтах, возведенных с использованием стоечных опор и свайных фундаментов, установлена высокая эффективность использования последних; выявлено, что деформации лотков на стоечных опорах иногда превышали 20 см, т.е. были недопустимыми по величине, а при использовании свайных фундаментов не превышали 3-4 см.

4. На двух экспериментальных участках осуществлены полевые опыты по определению несущей способности призматических, клиновидных и конусных набивных свай в просадочных грунтах природной влажности и при интенсивном дополнительном их замачивании; установлено, что при замачивании лессовых грунтов величина воспринимаемой сваей нагрузки снижается в три раза, но остается достаточной для обеспечения надежной эксплуатации лотковых каналов и сетевых гидротехнических сооружений.

5. Определены размеры и плотность грунта в зонах уплотнения, формирующихся в лессах при забивке свай, и установлены величины нормативных сопротивлений лессовых грунтов под острием и по боковой поверхности свай, т.е. выявлены все характеристики, определяющие работу свайных фундаментов в рассматриваемых условиях.

6. Разработана методика расчета несущей способности набивных призматических, клиновидных и конусных набивных свай в просадочных грунтах, а также методика расчета величин деформаций лотковых каналов и сетевых гидротехнических сооружений, возводимых с использованием свайных фундаментов, учитывающая совместную работу свай и окружающего ее уплотненного грунта.

7. Предложена технология возведения лотковых каналов и сетевых гидротехнических сооружений с использованием на лессовых грунтах свайных фундаментов, обеспечивающая полную механизацию процесса строительства, сокращение его сроков и стоимости.

8. Результаты исследований внедрены при строительстве оросительных систем в Голодной и Джизакской степях УзССР. Они позволили повысить качество строительства, сократить в два раза сроки производства работ, уменьшить численность работников (условно на 94 чел.-дня на I км лотковых каналов), увеличить производительность труда на 180%, снизить стоимость строительно-монтажных работ на 3,7 тыс.руб. на I км лотковых каналов и получить общий экономический эффект 997,9 тыс.руб.

По теме диссертации автором опубликованы следующие работы:

1. Ковалев В.А., Мамонов В.М. Технология устройства и испытания конусных набивных свай в просадочных грунтах Джизакской степи. -Строительство и архитектура Узбекистана, 1977, № 4, с.1-4.

2. Ковалев В.А. Свайные фундаменты лотковых каналов. -Гидротехника и мелиорация, 1980, № I, с.21-25.

3. Ковалев В.А. Отработка технологического процесса забивки свай под лотки и определение несущей способности в грунтах Джизакской степи. -Научно-технический отчет САНИИРИ, 1981, -51 с.

4. Ковалев В.А. Разработка технологии устройства свайных опор под лотковые каналы Лр-100 и Лр-120 в грунтах Джизакской степи. -Научно-технический отчет САНИИРИ, 1982, -41 с.

5. Ковалев В.А. Усовершенствование конструкции оросительной сети в Голодной степи. -Тез. докл. (Всесоюзная школа передовых методов труда. Тадж.ССР, Ура-Тюбе, 1976, с.27).

Технический редактор В.Крякова

---

Подп. к печ. 22.07.83. Л-92276. Формат 60x84/16.  
Бумага писчая №1, Печать офсетная. Объем 1,4 усл. печ. л.  
Тираж 100. Заказ 555.

---

Ротапринт ВНИИГим  
141800, Дмитров, Моск. обл., 2-я Левонабережная, 12