

Б. Л. ГОХФЕЛЬД, Г. В. ЖОРНИК

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «БУДІВЕЛЬНИК»
КИЕВ — 1973

Б. Л. Гохфельд, Г. В. Жорник. Полевые методы испытаний грунтов.

В книге даны практические рекомендации по методике и технологии проведения испытаний грунтов штампами и зондированием при инженерных изысканиях. Главное внимание уделено обобщению передового опыта применения описываемых методов. Освещаются рациональные приемы производства работ и обработка полученных данных, приведены сведения об оборудовании и приспособлениях.

Прилагаются таблицы, графики и примеры обработки материалов испытаний.

Рассчитана на инженерно-технических работников производственных организаций, занимающихся инженерно-геологическими исследованиями.

© БУДІВЕЛЬНИК 1973

ВВЕДЕНИЕ

Постоянно возрастающие требования к качеству и надежности инженерно-геологических данных повлекли за собой необходимость более тщательного и всестороннего исследования грунтов оснований в их естественном залегании. Тенденция к сокращению сроков проектно-изыскательских работ и удешевлению их поставила на повестку дня вопрос о широком внедрении в практику полевых инженерно-геологических исследований новых методов, позволяющих при сокращении продолжительности и стоимости исследований получить достоверную информацию в объемах, превышающих возможности традиционных методов.

Переход строительного проектирования на расчеты оснований по второму предельному состоянию выдвинул в число важнейших характеристику деформационных свойств грунтов — модуль общей деформации. Широко известный метод компрессионных испытаний грунтов в настоящее время уже не отвечает возросшим требованиям к точности получаемых характеристик. В этом отношении предпочтение отдается методу исследования сжимаемости грунтов штампами в полевых условиях, так как последние лучше моделируют работу основания и фундамента, проводятся на значительно больших по сравнению с образцами массивах и практически исключают нарушения структуры грунта, сопутствующие компрессионным испытаниям.

Индустриализация строительных работ, повышение ответственности сооружений выдвинули в число наиболее распространенных свайные фундаменты. Достоверные исходные данные для расчета свай вообще не могут быть получены лабораторным путем. Для этой цели наиболее приемлемы методы динамического и статического зондирования, которые, кроме указанного, позволяют расчленить геологический разрез и оценить его однородность.

Необходимость широкого применения полевых методов исследований грунтов в полевых условиях очевидна, однако отсутствие литературы, обобщающей накопленный опыт, в значительной мере тормозит процесс внедрения полевых методов.

В книге обобщен многолетний опыт производства полевых и камеральных работ и изложены наиболее рациональные приемы их ведения. Рассматриваются три полевых метода: штампы, ди-

намическое и статическое зондирования. Эти методы в комплексе с буровыми, горнопроходческими, геофизическими и лабораторными работами позволяют проводить инженерно-геологические исследования на уровне современных требований и дают возможность всесторонней оценки грунтов основания.

Введение и глава I написаны Гохфельдом Б. Л., глава II — Жорником Г. В.

Авторы выносят большую благодарность Я. В. Юрику за составление таблиц.

Глава I

ИСПЫТАНИЯ СЖИМАЕМОСТИ ГРУНТОВ ШТАМПАМИ

§ 1. ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА ГРУНТОВ

Характерной особенностью песчано-глинистых и особенно глинистых грунтов основания является их способность сжиматься под воздействием внешней нагрузки. Эти грунты обладают в сотни и тысячи раз большей сжимаемостью по сравнению с камнем, бетоном, железобетоном и другими строительными материалами.

Изучение деформативных свойств грунтов под воздействием внешней нагрузки является важнейшим разделом механики грунтов. На нем основан современный прогрессивный метод проектирования оснований по предельным состояниям.

Деформации грунтов основания, выражающиеся в их сжатии (уплотнении) и сдвиге, происходят за счет перемещения и перегруппировки твердых частиц.

Уплотнение грунтов приводит к их упрочнению и улучшению строительных свойств. При деформации сдвига происходит нарушение сплошности грунта, возникает местная, а иногда и общая потеря прочности (устойчивости) основания.

Вертикальные деформации оснований могут проявиться за счет осадки и просадки грунтов. При осадке грунты уплотняются без коренного нарушения сложения. Просадки случаются в результате перемещения частиц с коренным изменением структуры грунта. При этом часто наблюдается выдавливание грунта из-под фундамента.

Просадка — это деформация лессовидных грунтов при замачивании, мерзлых грунтов при оттаивании, рыхлых песков при встряхивании.

Процесс деформации основания в общем виде происходит в следующей последовательности.

В начале нагрузки на основание происходит сжатие грунтов в условиях ограниченного бокового расширения, вызванное небольшим перемещением частиц вниз, с незначительным отклонением от вертикали.

При увеличении давления у краев фундамента возникают напряжения, превышающие сопротивление грунтов сдвигу, вследствие чего в основании появляются области местного сдвига грунта.

При последующем увеличении давления области сдвига постепенно захватывают все больше участков. Под фундаментом

образуется уплотненное грунтовое ядро. Оно перемещается вместе с фундаментом, отделяясь от окружающего грунта поверхностью скольжения или разрыва. При опускании ядро расклинивает окружающий грунт, в результате появляются новые области сдвига и грунт начинает перемещаться в стороны и вверх, в направлении наименьшего сопротивления. При этом появляются поверхности скольжения, выходящие за пределы

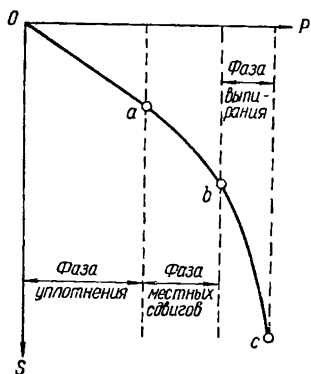


Рис. 1. Фазы деформации грунтов в основании по Н. М. Герсеванову.

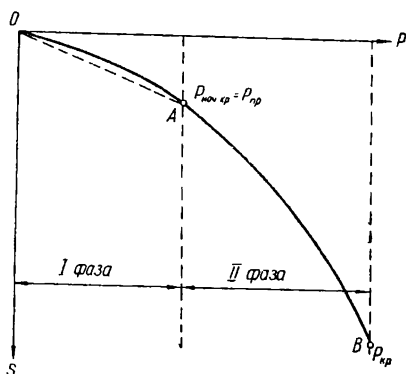


Рис. 2. Фазы напряженного состояния грунта в основании по Н. А. Цытовичу.

подошвы фундамента, происходит выпирание грунта из-под фундамента, создаются условия для резкого опускания, смещения и поворота фундамента.

В 1930 г. Н. М. Герсеванов установил общую закономерность изменения состояния грунта в процессе деформации. При этом он предложил рассматривать три фазы деформации грунтов под фундаментом при нагрузке возрастающими ступенями (рис. 1) по фазам: уплотнения $O-a$; местных сдвигов $a-b$; выпирания $b-c$.

В первой фазе (уплотнение) при нагрузке на фундамент в основании возникают деформации затухающего характера, грунт уплотняется только за счет уменьшения его пористости. Зависимость между нагрузкой и осадкой фундамента близка к прямолинейной.

В фазе местных сдвигов скорость деформаций приобретает постоянный характер, а осадки основания становятся неравномерными, большими чем осадки в фазе уплотнения. Причинами этих осадок являются как уплотнение, так и сдвиг частиц грунта по некоторым плоскостям сдвига. По краям подошвы фундамента образуются зоны местных нарушений прочности основания. При дальнейшем росте нагрузки в конце фазы появляются криволинейные поверхности скольжения, выходящие за преде-

лы подошвы фундамента. Зависимость между осадкой фундамента и нагрузкой во второй фазе заметно отклоняется от прямой.

В ходе деформации основания в фазе выпирания (третья фаза), при увеличении нагрузки до некоторого критического положения, зоны нарушения прочности основания образуют поверхность скольжения, охватывающую всю подошву фундамента. Несущая способность основания полностью исчерпывается.

Исследования, проведенные в последние десятилетия, показали, что первая и вторая фазы (уплотнения и местных сдвигов) по Герсеванову во многих случаях накладываются одна на другую. С одной стороны, в начале загрузки основания, еще при небольших нагрузках, наряду с уплотнением грунтов появляются локальные сдвиги, не нарушающие прочности и устойчивости основания. С другой стороны, с увеличением давления фаза местных сдвигов незаметно переходит в фазу выпирания.

В связи с вышеизложенным стали рассматривать не три, а две фазы напряженного состояния, возникающие под фундаментами при постепенном нарастании нагрузки на основание (рис. 2): фазу уплотнения и локальных сдвигов ($O-A$) и фазу развития значительных сдвигов ($A-B$).

При этом надежность оснований определяется двумя характерными давлениями, соответствующими границам двух рассматриваемых фаз напряженного состояния: начальным критическим $P_{нач.кр}$ и предельным давлением $P_{кр}$.

В пределах первой фазы $O-A$ для практических целей принята линейная зависимость между осадкой основания и давлением. Давление $P_{нач.кр}$ (точка A на границе двух фаз) рассматривается как предел возможного использования закономерностей линейно деформируемого полупространства, т. е. как предел пропорциональности $P_{пр}$. Повышение этого давления может вызвать местную потерю устойчивости грунтов основания. По этой причине среднее давление на основании не должно превышать $P_{нач.кр}$.

Строительными нормами и правилами (СНиП II-Б. 1—62) принимается, что глубина зон основания z , где в результате приложения центральной нагрузки могут появиться местные нарушения прочности основания, не должна превышать $1/4$ ширины фундамента b .

При $z = 1/4 b$ получена формула СНиП II-Б. 1—62 для определения так называемого нормативного давления на основание R^H , соответствующего пределу пропорциональности $P_{пр} = P_{нач.кр}$, т. е. пределу применения линейной зависимости между деформациями и напряжениями.

Предельное давление (точка B на рис. 2) соответствует окончанию второй фазы, т. е. полному использованию несущей способности основания. Незначительное превышение его может вызвать полную потерю устойчивости основания и сооружения.

Полевые испытания грунтов штампами позволяют не только установить более точные характеристики сжимаемости грунтов, но и выделить все фазы деформаций и определить те граничные значения давлений, при которых сохраняется линейная зависимость между осадкой и нагрузкой. В этом и заключается одно из очень важных преимуществ полевого метода испытаний грунтов штампами перед компрессионными испытаниями, так как при проектировании мало знать модуль общей деформации грунтов, необходим еще и интервал давлений, для которого справедливы принятые значения модуля общей деформации.

§ 2. МЕТОД ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ ШТАМПАМИ

Основная задача и возможности метода

Штампы моделируют совместную работу фундаментов и оснований. Применяя их, мы получаем возможность изучить зависимости между нагрузками P и осадками S как по конечным значениям (рис. 3, а), так и во времени (рис. 3, б), а следовательно, и установить предел $P_{пр}$, при котором линейная зависимость нарушается и грунт из фазы уплотнения переходит в фазу сдвигов. Это очень важное преимущество метода, так как все строительные расчеты в настоящее время ориентируются на работу грунтового основания главным образом в первой фазе деформаций.

Модули общей деформации $E_{он}$ определяются по известным формулам Буссинеска, Шлейхера и других, в которые вводятся

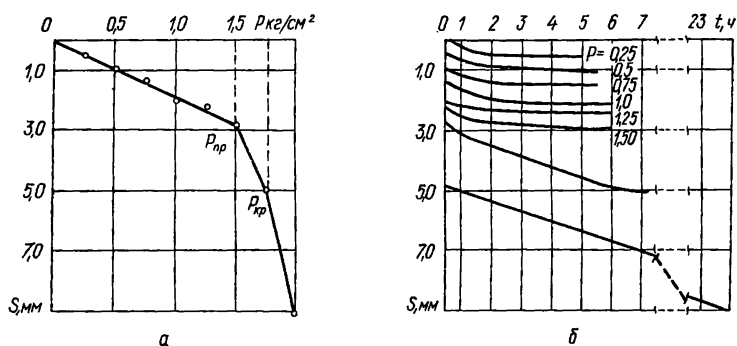


Рис. 3. Графическое изображение результатов опыта:
а — зависимость $S=f(P)$; б — зависимость $S=f(t)$ при $P=const$.

полученные в процессе опыта значения предельных нагрузок $P_{пр}$ и соответствующих им осадок $S_{пр}$.

Отсюда основной задачей метода является изучение сжимаемости грунтов в их естественном залегании и, как конечный результат, определение модуля общей деформации $E_{он}$ с одновре-

менным установлением тех граничных значений нагрузок P_1 , при которых сохраняется линейная зависимость между ними и осадками S_1 .

Однако возможности метода не ограничиваются только решением этих задач. В процессе инженерно-геологических исследований для обоснования проектов промышленных и гражданских сооружений не всегда достаточно охарактеризовать сжимаемость грунтов только при их естественной (природной) влажности. Метод позволяет проводить нагрузки и в условиях искусственного замачивания грунтового основания. Последнее значительно расширяет диапазон применимости штампов, так как открывает возможность не только прогнозировать осадки сооружений в условиях подтопления территорий, но, что не менее важно, моделировать и изучать в полевых условиях просадочные процессы. Уже в настоящее время при помощи штампов могут быть установлены такие существенные характеристики просадочных грунтов, как начальное давление просадочности $P_{н.пр}$, величина смещения предела пропорциональности при замачивании. Можно также с достаточной достоверностью определить величину относительной просадочности $\delta_{пр}$.

При расчете осадок сооружений наряду с модулем общей деформации большую роль играет мощность активной (сжимаемой) зоны под подошвами фундаментов (h_a). Эта величина зависит от состояния грунта, размеров фундамента, нагрузки и в общем случае определяется условно путем расчетов. Штампы в сочетании, например, с глубинными марками, позволяют искать пути для определения мощности активной зоны опытным путем.

Положения и правила, изложенные ниже, обязательно должны учитываться как при подготовке опыта, так и в процессе его проведения.

При исследованиях сжимаемости грунтов штампами не может быть деления операций на важные и второстепенные. Любое, малозаметное в первом приближении, иногда кажущееся неприципиальным, отклонение от правил опытных работ может привести к серьезным искажениям результатов. Следует помнить, что грубые нарушения правил менее опасны, так как легко выявляются при обработке материалов. Значительно опасней «мелкие» нарушения, которые незаметно искажают общую картину опыта, внося в него систематические ошибки. Выявление этой группы ошибок не всегда возможно даже при высокой квалификации исполнителей.

Принципиальная схема опыта (регламентируется ГОСТ 12374—66)

В общем виде опыт состоит из семи основных операций: 1) установки штампа на грунт; 2) предварительного уплотнения грунта нагрузкой, равной бытовому давлению на отметке по-

дошвы штампа; 3) нагружения штампа последовательным рядом ступеней удельных давлений; 4) замера и записи промежуточных и конечных значений осадки на каждой ступени нагрузок; 5) разгрузки штампа ступенями, равными по величине ступеням нагрузки; 6) записи величины упругой отдачи; 7) обработки материалов опыта.

Приведенная схема при необходимости может дополняться отдельными операциями. Так, при испытании искусственно замоченных грунтов включается замачивание основания с замером расхода воды и контролем изменения влажности грунта по глубине. При совместном изучении сжимаемости толщи и характера изменения мощности активной зоны одновременно со штампом устанавливаются глубинные марки и проводится замер их перемещений в процессе нагрузок и т. д.

Рабочие параметры опыта

Перед началом исследований, в зависимости от их целей, инженерно-геологических условий, разновидности грунта и его физических характеристик, глубины залегания, класса сооружения определяются рабочие параметры опыта: тип выработки, в которой будет установлен штамп, и его размеры, тип штампа, величина нагрузки для предварительного уплотнения грунта, величина и количество ступеней последующих нагрузок, время условной стабилизации осадки штампа и необходимые в зависимости от целей опыта дополнительные операции.

Нагрузка для предварительного уплотнения должна быть равна бытовому давлению, но не менее $0,5 \text{ кг/см}^2$. Во всех случаях количество ступеней, включая конечную ступень нагрузки предварительного уплотнения, не должно быть менее пяти.

Выбор рабочих параметров опыта

Тип выработки зависит от глубины испытания и залегания уровня грунтовых вод. Во всех случаях, когда испытываемый грунт залегает выше уровня грунтовых вод, лучше устанавливать штампы в открытых (котлован, канава, шурфы) или подземных (штольня, штреки, квершлаг и т. д.) горных выработках.

Ниже уровня грунтовых вод единственно возможным типом выработки для установки штампов являются буровые скважины большого диаметра (12—14"). Глубина испытания в скважинах согласно ГОСТ 12374—66 составляет 15 м. Для горных выработок глубина не лимитируется. Однако при работе в шурфах глубже 5 м следует иметь в виду, что использование грузовых платформ нежелательно, поскольку из-за изгиба стойки нагрузка на штамп передается внецентренно, и результаты опыта искажаются. В этом случае для нагружения рекомендуется ис-

пользовать гидравлические домкраты, устанавливаемые непосредственно на штамп. Сечение выработок должно выбираться таким образом, чтобы после их крепления площадка, на которую устанавливается штамп, имела размеры в плане не менее $1,5 \times 1,5$ м.

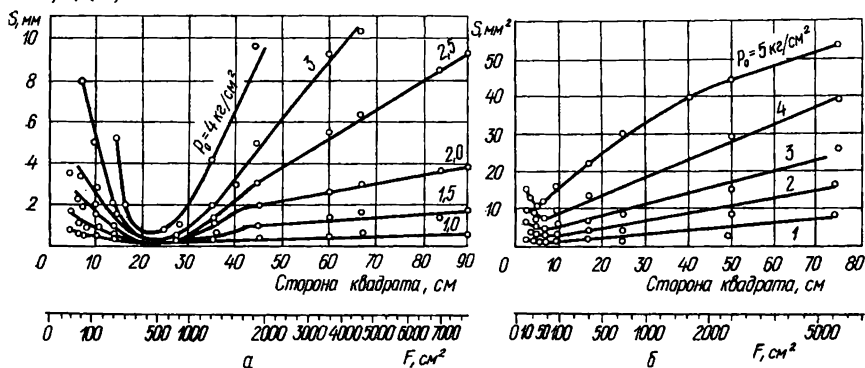


Рис. 4. Зависимость осадки от размеров загружаемой площади (по Н. А. Цытовичу):
а — для песка; б — для суглинков.

Размеры штампов зависят от типа выработки, где они будут установлены, естественного состояния грунтов и способа нагружения.

Известно, что между размером штампа и величиной осадки существует прямолинейная зависимость, которая может быть выражена уравнением:

$$S = \alpha P \sqrt{F},$$

где α — коэффициент пропорциональности, постоянный для данного грунта;

P — нагрузка на штамп;

F — площадь штампа; \sqrt{F} — сторона квадрата равновеликой площади.

Действительно, чем больше площадь, тем на большую глубину будут передаваться напряжения от нагруженного штампа, тем больший слой грунта будет деформироваться и, следовательно, осадка будет увеличиваться. Графики, приведенные на рис. 4, подтверждают это. Однако уравнение справедливо лишь до определенных пределов. Для песков этот предел находится у ординаты 600, для суглинков — 100 $см^2$. Штампы меньших размеров вызывают обратный эффект. В связи с этим минимальный размер площади штампа, предусмотренный ГОСТ 12374—66 составляет 600 $см^2$. Последний предназначен только для испытания грунтов в буровых скважинах.

Для горных выработок ГОСТ рекомендует два размера площади штампа — 2 500 и 5000 $см^2$ и допускает применение штам-

па площадью 1000 см^2 с обязательной жесткой кольцевой пригрузкой грунта давлением, равным бытовому. При этом площадь кольца должна дополнять площадь штампа до 5000 см^2 .

Штампы 2500 см^2 рекомендуется применять при исследовании плотных песчаных и глинистых грунтов, имеющих конси-

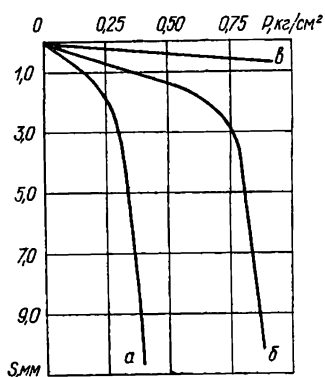


Рис. 5. Влияние интенсивности нагружения на результаты испытания слабых водонасыщенных глинистых грунтов. Графики зависимости $S=f(P)$:

а — ступени нагрузки $0,25 \text{ кг/см}^2$; б, в — то же $0,10$ и $0,05 \text{ кг/см}^2$.

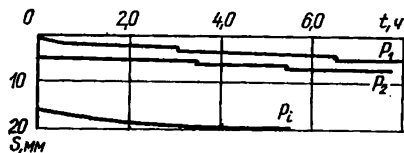


Рис. 6. Характерный график $S=f(t)$ при $P=\text{const}$, когда величины ступеней нагрузки занижены.

стенцию $B \leq 0,25$; 5000 см^2 — для крупнообломочных, песчаных средней плотности и рыхлых грунтов, а также для глинистых грунтов, имеющих консистенцию $B > 0,25$.

При исследованиях сжимаемости крупнообломочных грунтов площадь штампа должна превышать не менее чем в пять раз площадь самых крупных обломков.

Кроме указанных стандартных круглых штампов, на практике на слабых водонасыщенных глинистых грунтах часто применяются штампы площадью $10\,000 \text{ см}^2$. Иногда, при специальных исследованиях, возникает необходимость провести нагрузки прямоугольных штампов с различным соотношением сторон.

Выбирая размеры штампа, следует всегда помнить, что опыты отличаются большой трудоемкостью. Увеличение площади штампов влечет за собой резкое увеличение трудозатрат и времени, особенно в тех случаях, когда нагрузка проводится не при помощи гидравлических домкратов, а тарированными грузами. Поэтому такая тенденция может быть оправдана лишь в том случае, если полученный эффект превысит затраты на удорожание работ. Уменьшение размеров штампов, по сравнению с оптимальными, вообще не может быть допущено, так как влечет за собой технический брак.

Величины ступеней нагрузки (интенсивность нагружения) всецело зависят от разновидности и состояния грунта. В общем случае чем прочнее грунт, тем больше величина ступени (рис. 5).

На рисунке видно, что при завышенной, по сравнению с несущей

щей способностью, интенсивности (кривая *a*), грунт не успевает консолидироваться, в связи с чем эффект сдвигов начинает проявляться при значительно меньших удельных давлениях. Эта ошибка приводит к искусственному снижению характеристик сжимаемости, однако она может быть вовремя обнаружена, так как четко проявляется на графике *нагрузка—осадка*: фаза уплотнения или отсутствует или фиксируется менее чем тремя точками.

Значительно сложнее проконтролировать отклонение в сторону неоправданного уменьшения величины ступени нагрузки (кривая *b*). Уплотнение малыми ступенями нагрузки создает благоприятные условия для консолидации грунта, в связи с чем фаза сдвигов может начаться при удельных давлениях, значительно превышающих фактический предел пропорциональности. Возможными признаками такого отклонения являются большое (>8) количество точек на прямолинейном участке графика *нагрузка—осадка*, почти строгое размещение их по прямой, ступенчатый характер графика *осадка—время при постоянном давлении* (рис. 6).

При обнаружении указанных отклонений в величину ступени нагрузки для всех последующих опытов должны быть введены соответствующие коррективы.

В случае, если эти отклонения существенно повлияли на результат, опыт необходимо повторить. Во всех случаях величины ступени нагрузки должны соответствовать несущим способностям грунта.

В ГОСТ 12374—66 для крупнообломочных, песчаных и связных грунтов, в зависимости от их физических характеристик, приводятся ориентировочные величины ступеней нагрузки. Для сыпучих грунтов эти величины сведены в табл. 1, для связных — в табл. 2.

Таблица 1

Наименование и плотность грунта	Крупнообломочные и плотные песчаные грунты	Песчаные грунты	
		средней плотности	рыхлые
Величина ступени нагрузки, $кг/см^2$	1,0	0,5	0,25

Таблица 2

Показатель консистенции грунта <i>B</i>	Величина ступени нагрузки, $кг/см^2$, при коэффициенте пористости		
	$e < 0,5$	$0,5 \leq e \leq 0,8$	$e > 0,8$
$B < 0,25$	1,0	1,0	0,5
$0,25 \leq B \leq 0,75$	1,0	0,5	0,5
$B > 0,75$	0,5	0,25	0,25

При исследовании сжимаемости торфа, слабых водонасыщенных глинистых грунтов, а также грунтов со значительными примесями органических остатков величины ступеней нагрузки должны быть более дробными, чем это указано в табл. 1, 2 ($0,1 \div \div 0,2 \text{ кг/см}^2$). Для лессовидных грунтов, которые будут испытываться в условиях искусственного замачивания, величина ступеней нагрузки принимается равной $0,25 \text{ кг/см}^2$.

Во всех случаях величины ступеней должны корректироваться согласно результатам анализа графиков первого опыта. Принятые ступени нагрузки не могут меняться в ходе одного опыта, так как это может привести к грубым искажениям результатов. Этап предварительного уплотнения входит в состав опыта и на него полностью распространяется это положение.

Важное значение для результатов штампо-опытов имеет продолжительность ступеней нагрузки. ГОСТ 12374—66 регламентирует лишь продолжительность промежуточных ступеней предварительного уплотнения грунта. На этом этапе опыта на крупнообломочных и песчаных грунтах каждую ступень выдерживают 5, на глинистых — 30 мин.

Конечную ступень нагрузки предварительного уплотнения, равную бытовому давлению, и все последующие ступени необходимо выдерживать до момента достижения условной стабилизации осадки, за которую принимается приращение осадки штампа, не превышающее $0,1 \text{ мм}$ за 1 ч для крупнообломочных и песчаных грунтов и $0,1 \text{ мм}$ за 2 ч — для глинистых. Кроме этого, начиная с первой ступени нагрузки, продолжительность ее не должна быть меньше времени, затраченного на предыдущую ступень.

Конечная величина нагрузки определяется в зависимости от состояния грунта и его несущих способностей. Она должна быть больше предполагаемого критического давления на одну-две ступени. Это позволяет изучить характер и размеры деформаций грунта на всех фазах. В зависимости от конечной нагрузки определяется и общее количество ступеней штампо-опыта.

Ориентировочные значения конечных нагрузок для различных грунтов приведены в табл. 3.

Наиболее часто конечные нагрузки изменяются в диапазоне $3,0—5,0 \text{ кг/см}^2$. Это единственный из параметров, который при необходимости может быть изменен в ходе опыта. В идеальном случае опыт должен быть доведен до фазы выпирания (общих сдвигов), при которой наступают необратимые деформации грунтового основания.

Свидетельством достижения этой фазы является наличие любого из трех признаков: появление вокруг штампа бугров или валиков выпирания; образование сети радиальных или концентрических трещин; отсутствие стабилизации осадки в течение 24 ч.

В ряде случаев, когда исследуются прочные грунты, фаза выпирания не всегда достигается. Поэтому ГОСТ предусматривает воз-

Наименование и характеристика грунта	Величина конечной нагрузки без учета бытового давления, кг/см ²
Слабые водонасыщенные глинистые грунты при $V > 0,75$ и $\epsilon > 1,0$, ил, торф	0,6—1,0
Водонасыщенные лессовидные грунты, рыхлые пылеватые и мелкие пески, связные грунты при $B = 0,25 \div 0,75$ и $\epsilon = 0,5 \div 0,8$	1,5—2,5
Маловлажные и влажные лессовидные грунты, пески средней плотности, связные грунты при $V > 0,75$, а также при $B = 0,25 \div 0,75$ и $\epsilon = 0,5 \div 0,8$	2,5—4,0
Плотные маловлажные лессовидные грунты, плотные пески, щебень, дресва и связные грунты при $B = 0,25 \div 0,75$ и $\epsilon < 0,5$ или $B < 0,25$ и $\epsilon \leq 0,8$	4,0—6,0
Моренные отложения, элювий коренных пород при $B < 0,25$, крупнообломочные грунты	6,0

Примечание. Таблица составлена по данным опытов автора.

возможность завершения опыта в начальной стадии фазы сдвигов. Начало этой фазы (конец фазы уплотнения) фиксируется нагрузкой, увеличение которой на одну ступень вызывает резкую осадку штампа, превышающую не менее чем вдвое осадку на предыдущей ступени. На графике *нагрузка — осадка* эта точка фиксируется четким переломом. Во избежание ошибок, перелом графика должен быть подтвержден не менее чем двумя ступенями нагрузок.

Таким образом, если при намеченной конечной величине нагрузки на штамп начальная стадия фазы сдвигов не достигнута, опыт должен быть продолжен (кроме тех случаев, когда конечная нагрузка обусловлена техническим заданием на изыскания). Если эта стадия достигнута ранее, опыт прекращается.

Нагрузка штампа и замер осадок

Нагрузка штампа и замер осадок являются основными операциями опыта, его содержанием. Величины нагрузок и соответствующие им осадки непосредственно входят в формулы расчета модуля общей деформации. Отсюда те повышенные требования, которые предъявляются к их точности и достоверности.

А. Нагрузки

Нагрузка должна быть распределена равномерно по всей площади. Это требование может быть соблюдено только при выполнении следующих основных условий: штамп достаточно жесткий и установлен строго горизонтально; нагрузка приложена центрально под углом 90° к плоскости штампа.

Нагружение штампа должно проводиться в кратчайшие сроки. Для строительного проектирования очень важно установить характер прохождения основных осадок зданий. Правильному решению этих вопросов способствует анализ графика *осадка—время* при постоянной нагрузке. Растянутая во времени нагрузка искажает характер этого графика, так как на самом важном его участке, в начале, нагрузка превращается также в переменную величину.

Нагружение должно производиться плавно, без ударов. Любой удар грузом по штампу — динамическая нагрузка, которая увеличивает осадку, искажая тем самым результаты опыта.

Нагрузка в пределах каждой ступени должна быть постоянной, ее нельзя уменьшать или увеличивать, поскольку это немедленно сказывается на характере осадки и создает на графиках горизонтальные площадки или ступеньки.

Уменьшение давления на штамп, кроме горизонтальных ступеней на графиках *осадка—время*, может вызвать эффект набухания, так как в разгруженном основании проявляются силы упругой отдачи.

Величина нагрузки определяется с максимальной точностью. Грузы, используемые в опыте, должны быть взвешены с такой точностью, чтобы погрешность величины удельного давления не превышала 0,3%. Отсюда следует, что чем меньше площадь штампа, тем выше должна быть точность взвешивания грузов или определения давления на штамп, развиваемого гидравлическим домкратом. Вес штампа с оборудованием должен в обязательном порядке учитываться при определении общего давления.

Б. Замер осадок

Точность замера осадок непосредственно влияет на результаты опыта, так как эта величина связана с модулем общей деформации обратной пропорциональной зависимостью. Во всех стандартных опытах измерения должны проводиться с точностью 0,1 мм.

Наиболее удобны в работе и соответствуют предъявляемым требованиям прогибомеры, которые в зависимости от конструкции позволяют снимать отчеты с точностью 0,01—0,10 мм.

В связи с тем, что во время опыта не исключена возможность перекосов, замеры осадок должны проводиться по двум точкам, расположенным на диаметрально противоположных краях штампа. Казалось бы, что за величину осадки может быть принято среднее значение показаний двух прогибомеров. Однако полученные значения чаще всего существенно отличаются от действительных величин осадки. Это объясняется тем, что для соединения штампа с прогибомерами используются струны (более всего пригодна сталистая проволока диаметром 0,3 мм). Наличие этого связующего звена оказывает заметное влияние на

результаты замеров осадок. Причина заключается в деформации проволоки под воздействием температурных колебаний окружающей среды, а также от веса оттягивающих гирь. Причем, чем глубже от поверхности установлен штамп и чем длинней проволока, тем больше деформации и ошибка замера.

Если растяжение проволоки от веса груза рассчитать сложно, то влияние температурных колебаний учету практически не поддается.

Известная методика расчета деформации проволоки в зависимости от колебаний температуры окружающего пространства дает весьма далекие от истинных результаты. Причины несоответствия расчетных и фактических деформаций проволоки заключаются в том, что на различных ее отрезках могут быть разные температуры. Все зависит от освещенности проволоки, экспозиции шурфа и места замера температуры: над устьем шурфа, где проволока нагревается прямыми лучами солнца, температура выше, чем в центральной части шурфа, а вблизи забоя — ниже, чем в центре. Причем соотношение длин таких участков непрерывно изменяется в зависимости от положения солнца.

Дифференцированный замер температур по глубине шурфа не может дать положительных результатов, так как не известно, на какие по длине участки проволоки влияет та или иная температура. Если же учесть, что на тепловые деформации накладываются еще и деформации от веса гирь, то станет очевидным, что любые расчеты поправок не могут дать их истинных значений. Единственно правильной методикой определения знака и величины поправок на деформацию проволоки является замер самих деформаций в процессе опыта. Для этой цели третий (контрольный) прогибомер устанавливается над тем же шурфом, где производится опыт. Но в отличие от прогибомеров, связанных проволокой со штампами, к нему подводится проволока, нижним концом прикрепленная к неподвижному реперу, установленному в стенке шурфа на глубине, соответствующей глубине прикрепления к штампу проволоки от рабочих прогибомеров. Любые изменения длины проволоки надежно фиксируются прогибомером как по величине, так и по знаку. Они в виде поправки должны вводиться в замеренные осадки штампа.

Таким образом, абсолютная осадка штампа может быть получена сложением среднего арифметического показаний двух рабочих и контрольного прогибомеров.

Величины замеренной деформации будут более точны, если в процессе опыта на всех прогибомерах будут установлены проволоки равной длины, сечения и состава; если проволока хранится в одинаковых условиях; оттягивающие гири имеют равный вес; все прогибомеры установлены одновременно и снятие отсчетов с прогибомеров проводится одновременно.

Величина отсчета по стрелке прогибомера может изменяться в зависимости от изменения угла зрения наблюдателя по отно-

шению к лимбу прибора. Правильным будет отсчет, когда угол составляет 90° .

В процессе опыта важно выяснить характер протекания осадок во времени и установить тот отрезок, за который проходит основная часть деформаций. Известно, что в песчаных и крупнообломочных грунтах осадки проходят быстрее, чем в глинистых. Поэтому и интервалы снятия отсчетов, принятые ГОСТ 12374—66, различны.

Для крупнообломочных и песчаных грунтов отсчеты снимаются так: в первый час после приложения нагрузки через каждые 10 мин, во второй — через 20 мин, далее через один час до условной стабилизации осадки; для глинистых грунтов: в течение первого часа — через 15 мин, второго — через 30 мин и далее через один час до условной стабилизации осадки.

Выбор места установки штампа

Испытания сжимаемости грунтов вертикальными статическими нагрузками являются одним из самых трудоемких и дорогостоящих видов работ, входящих в комплекс инженерно-геологических исследований. Количество опытов на одной площадке почти всегда строго лимитируется. Поэтому элемент случайности при выборе мест установки штампов должен быть полностью исключен.

Разрабатывая рабочую схему размещения опытов, исследователь всегда должен руководствоваться следующими основными правилами: в процессе опытов исследуются все грунты, слагающие основание в пределах активной зоны; при ограниченном количестве опытов предпочтение отдается более слабым грунтам; грунт, на котором устанавливается штамп, должен быть типичным для данного слоя; для каждого слоя желательнее получить не менее трех результатов; при прочих равных условиях предпочтение следует отдавать участкам, на которых предполагается разместить более ответственные сооружения; опыты должны проводиться вблизи геотехнических выработок.

Первое из перечисленных правил следует рассматривать в двух аспектах в зависимости от стадии проектирования.

Для стадии технического проекта, когда еще не разработан генеральный план объекта и не известно, где будут размещены ответственные сооружения, штампы устанавливаются с таким расчетом, чтобы осветить сжимаемость всех основных разновидностей грунтов, слагающих площадку в пределах предполагаемой активной зоны. Точная характеристика сжимаемости грунтов на этой стадии позволяет более обоснованно разместить сооружения, предварительно принять рациональные размеры и глубины заложения фундаментов, при необходимости наметить конструктивные мероприятия по приданию необходимой жесткости сооружениям и т. д.

При изысканиях на стадии рабочих чертежей область исследований ограничивается контурами лишь тех сооружений, основания которых будут рассчитываться по допустимым деформациям. В этом случае необходимо знать характеристики сжимаемости тех грунтов, которые слагают активную зону непосредственно под подошвами фундаментов. Использовать данные, полученные на соседних участках, не всегда целесообразно, так как из-за изменчивости величин модуля общей деформации частные значения его могут существенно колебаться как по глубине, так и по площади.

Таким образом, намечая места установки штампов, необходимо знать детальное геологическое строение площадки и ориентировочную мощность активной зоны. Геологическое строение выявляется в результате инженерно-геологической разведки и камеральной обработки полученных материалов. Следовательно, это требование и предопределяет место опытных работ в общем комплексе инженерно-геологических исследований.

Испытания грунтов штампами должны производиться на заключительном этапе исследований, завершая цикл полевых работ. Но знать геологическое строение в общих чертах еще не достаточно, необходимо представлять себе все детали его. Поэтому решать вопрос о количестве и местах расположения штампов должен ведущий геолог данного объекта.

Сведения о предполагаемой мощности активной зоны могут быть приведены в техническом задании. Кроме того, в техническом задании в обязательном порядке указываются размеры и глубина заложения фундаментов, а также вес сооружений. Исходя из этих данных по табл. 4 может быть приближенно определена необходимая глубина исследований.

Таблица 4

При отдельно стоящих фундаментах		При ленточных фундаментах		При отдельно стоящих фундаментах		При ленточных фундаментах	
Нагрузка на фундамент, т, до:	Глубина активной зоны, м	Нагрузка на 1,0 м фундамента, т, до:	Глубина активной зоны, м	Нагрузка на фундамент, т, до:	Глубина активной зоны, м	Нагрузка на 1,0 м фундамента, т, до:	Глубина активной зоны, м
50	4—6	10	4—6	1000	11—15	100	12—17
100	5—7	20	6—8	1500	12—18		
250	7—9	50	9—12	5000	18—25		
500	9—13						

После того, как намечены слои, подлежащие испытанию статическими нагрузками, необходимо выбрать конкретные места установки штампов. Как указано в основных правилах, грунт, где устанавливается штамп, должен быть типичным для данного слоя.

Это значит, что при выборе мест необходимо руководствоваться не только описаниями, но и результатами лабораторных определений физико-механических свойств испытываемого грунта. Анализируя изменчивость показателей физико-механических свойств, при помощи методов математической статистики можно установить средние и крайние значения каждого показателя.

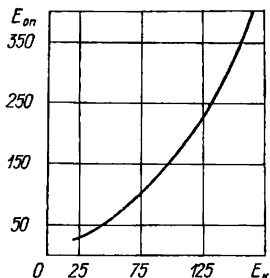


Рис. 7. Примерный график корреляционной зависимости между величинами модуля общей деформации, определенными в полевых ($E_{оп}$) и лабораторных (E_k) условиях.

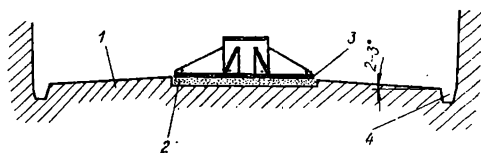


Рис. 8. Дно шурфа, подготовленное для испытания на сжатие песчано-глинистых грунтов при естественной влажности: 1 — испытываемый грунт; 2 — песчаная подушка; 3 — штамп; 4 — водосборный приямок.

Типичным для данного слоя будет считаться такой массив грунта, показатели физико-механических свойств которого наиболее близки к установленным средним значениям.

Испытания сжимаемости грунтов штампами могут проводиться после того, как завершены лабораторные исследования грунтов и их математическая обработка.

Как уже указывалось, испытания штампами не являются массовым видом исследований. Известно также, что величины модуля общей деформации отличаются значительной изменчивостью. Возникает необходимость в поиске путей, которые позволят распространять с достаточной достоверностью полученные результаты на соседние участки.

Наиболее простое решение этой задачи заключается в поиске и установлении корреляционной зависимости между величинами модуля общей деформации, определенными в полевых условиях и в лаборатории (рис. 7).

Считается, что установив такую зависимость и ограничиваясь компрессионными испытаниями, можно определить более достоверно значение модуля общей деформации. Корреляция может быть надежной лишь в том случае, если пробы грунтов для лабораторных исследований взяты строго из тех мест, на которые будут установлены штампы.

§ 3. ТЕХНОЛОГИЯ РАБОТ

Большое значение для успешного проведения штампо-опытов имеет тщательное соблюдение очередности работ и выполнение их такими приемами, которые сводят до минимума возможные погрешности.

Весь комплекс работ, связанный с проведением штампо-опыта, может быть условно разделен на четыре этапа: подготовка основания и опробование; монтаж оборудования с завершающими операциями по предохранению и подготовке основания: собственно опыт; демонтаж оборудования и опробование основания после опыта.

Подготовка основания и опробование

В какой бы выработке ни устанавливался штамп, главным требованием к основанию является полная его сохранность, включая сохранность структуры, плотности и влажности. В соответствии с этим подготовка должна проводиться вручную, без передачи ударов и вибрации на грунт; быстро и с минимальными разрывами во времени (не более 3 ч) между завершением подготовки основания и началом опыта. Технология проходки выработок здесь не рассматривается. При использовании механизмов, для предотвращения нарушения структуры грунта, проходку нужно вести с недобором 0,5 м. Дальнейшее углубление выработки до проектной отметки следует проводить ручным способом. Недобор необходим и в том случае, когда подготовка основания и установка штампа не могут быть осуществлены сразу же после завершения проходки шурфа. Это мероприятие поможет предохранить грунт от высыхания или промерзания. Бурение скважин для установки штампов следует вести вращательными методами. Наиболее удобны скважины диаметром 12—14". Если предстоит установка штампа в шурфе методом упора в стенки, необходимо проверить по отвесу вертикальность последних, а также проследить, чтобы противоположные стенки были параллельны.

Шурфы должны быть закреплены. Наиболее удобно для работы сплошное венцовое крепление брусом, причем нижний венец должен не доходить до забоя на 10—15 см, для чего он устанавливается на бабках. При работе в устойчивых связных грунтах допускается крепление вразбежку.

В шурфах и котлованах подготовка основания начинается с планировки дна, которая проводится плоской совковой или штыковой лопатой (в шурфах — с укороченным черенком).

Планировка производится по уровню с таким расчетом, чтобы был создан небольшой уклон (2—3°) от центра к краям площадки (рис. 8). Наиболее рациональные форма и размеры площадок: квадрат от 1,6×1,6 м до 2,0×2,0 м. Уклон необходим на тот случай, если, несмотря на мероприятия по предохранению выработки от непредвиденного замачивания атмосферными

осадками, вода попадает на забой. Уклон исключит возможность инфильтрации осадков в практически ощутимых количествах в непосредственной близости от краев штампа. При производстве опытов с искусственным замачиванием основания нет надобности в создании уклона. В этом случае поверхность площадки должна быть строго горизонтальной. В одном из углов спланированной площадки (дно шурфа) вырезается монолит грунта стандартных размеров, который сразу же должен быть запарафинирован. На монолит выписывается этикетка, в которой, кроме обычных данных (наименование объекта, номер шурфа, глубина и дата отбора, описание грунта и фамилия исполнителя), указывается — «до опыта». Оставшийся после отбора монолита приямок в дальнейшем будет служить зумпфом для сбора и вычерпывания случайных вод.

Часто монолиты «до опыта» отбираются в процессе проходки шурфа или котлована непосредственно над местом установки штампа. Такая схема отбора проб не всегда надежна, так как по вертикали на расстоянии 0,20—0,25 м значительные фациальные изменения и связанные с ними изменения физико-механических свойств более вероятны, чем в горизонтальном направлении на расстоянии 1,0 м, в связи с чем может случиться так, что показатели физико-механических свойств не будут соответствовать испытанному грунту. Использовать «вертикальную» схему опробования можно только при установке штампов в скважинах, так как в этом случае имеются контрольные монолиты, отобранные из геотехнической скважины, пройденной в процессе инженерно-геологической скважины в непосредственной близости от места испытаний.

После отбора монолита определяется точка симметрии забоя шурфа или опытной площадки в котловане, которая и будет центром гнезда для установки штампа. Вокруг центра описывается окружность, радиус которой должен превышать радиус штампа на 1—2 см. Для разметки центра и контура окружности наиболее удобно использовать капроновый шнур. Натянув его по диагоналям опытной площадки, на пересечении определяем место центра. При помощи двух гвоздей, один из которых вставлен в точку центра, а второй — в петлю шнура на расстоянии, равном необходимому радиусу, описывается окружность. В контуре окружности подготавливается гнездо для штампа. Глубина его должна превышать толщину плиты штампа на 1,0—2,0 см.

В случаях, когда производятся испытания мягкопластичных и текучепластичных грунтов, в соответствии с требованиями ГОСТ 12374—66, во избежание выпирания, штампы устанавливаются не в гнезда, а в приямки глубиной 40—60 см. При установке штампа в скважинах основание также не может быть подготовлено так же тщательно, как в шурфах. Все операции сводятся к углублению скважины на 10—20 см (в зависимости от консистенции) при помощи специального ножа для зачистки

(рис. 9). При этом следует помнить, что штамп должен быть установлен не более чем на 2,0 см ниже фрезерного башмака обсадных труб. В тех случаях когда предстоят испытания водонасыщенных песков, необходимо исключить возможность образования пробки в обсадных трубах на всем протяжении работ, начиная от бурения и кончая демонтажом оборудования. Достигается это при помощи противодействия, создаваемого водой, непрерывно заливаемой в скважину. Количество заливаемой воды регулируется с таким расчетом, чтобы уровень ее в трубах был на 5—10 см выше статического уровня.

Дно гнезда (приямка) тщательно выравнивается под уровень, причем горизонтальность его должна проверяться в 5—8 направлениях. Выравнивание дна производится металлическим скребком. В подготовленное гнездо или на зачищенный забой скважины засыпается хорошо отсортированный мелкий песок, который в шурфах и котлованах укладывается ровным слоем мощностью 1,0—2,0 см.

При подготовке опыта с искусственным замачиванием основания для улучшения условий инфильтрации воды в грунт следует применять песок средней крупности.

Если штамп устанавливается на грунты, поверхность которых не может быть тщательно выровнена из-за выступающих более прочных кусков (валуны в галечниках или суглинках и т. д.), мощность подсыпки должна быть увеличена с таким расчетом, чтобы все выступы были перекрыты на 1,0—2,0 см песком. Не рекомендуется делать подсыпку мощностью более 5,0 см.

Далее при помощи ватерпаса на колодке, длина которой равна диаметру штампа, поверхность песчаной подсыпки разравнивается и одновременно проверяется ее горизонтальность.

В скважинах разравнивание производится зачистным ножом, вращаемым против часовой стрелки. Укладка песчаной подушки строго обязательна, так как даже при самой тщательной зачистке площадки последняя имеет множество микронеровностей, исключающих хорошее прилегание штампа, а следовательно, и равномерную передачу нагрузок на всю площадь основания. Кроме того, при испытаниях связных грунтов песчаная подушка позволяет избежать прилипания подошвы штампа к поверхности грунта, что также влияет на качество опыта.

При производстве опыта с искусственным замачиванием песчаная подсыпка играет еще и роль дрены. Поэтому допускается увеличение ее мощности до 10 см.

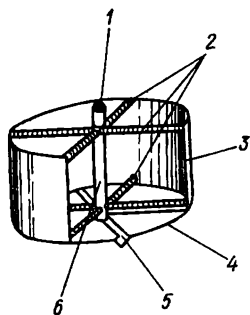


Рис. 9. Нож для зачистки забоя в буровой скважине:

- 1 — коническое соединение;
 2 — нижняя и верхняя крестовины из труб 3/4";
 3 — корпус из муфты диаметром 10—12";
 4 — днище;
 5 — нож;
 6 — осевой стержень.

В связи с тем, что не всегда на месте удается найти песок необходимого качества, целесообразно иметь его запас в количестве 10—15 ведер. Все перечисленные операции в шурфах и котлованах производятся одним старшим рабочим под наблюдением ответственного исполнителя. Остальные члены бригады в это время заняты на вспомогательных работах: откатывают выбираемый грунт, просеивают песок и подают его на опытную площадку, производят окончательную подготовку оборудования, в том числе смазку резьб, зачистку и смазку подошвы штампа, проверку надежности соединений маслопроводов гидросистем, проверку работы домкратов, насосных станций, манометров и т. д. Состав вспомогательных работ определяется в зависимости от конструктивных особенностей комплекта оборудования.

Монтаж оборудования с завершающими операциями по предохранению и подготовке основания

Зачищенный и смазанный штамп спускается на таях в шурф или, если опыт производится в котловане, подносится к месту установки. При спуске штампа в шурф старший рабочий покидает выработку. Установка штампа производится двумя рабочими плавно, без ударов, так, чтобы центр его совпал с точкой симметрии опытной площадки. После этого, для более плотного прилегания подошвы к песчаной подушке, производят притирку штампа двумя—тремя полуоборотами влево—вправо вокруг его оси, контролируя горизонтальность установки по ватерпасу, укладываемому на верхнюю плоскость стойки штампа. Если опыт будет производиться с искусственным замачиванием, то вся площадка вокруг штампа должна быть закрыта досками, которые предохраняют основание от уплотнения при последующем монтаже.

Дальнейшие операции зависят от типа или конструкции комплекта. Здесь будут рассмотрены три наиболее распространенных типа конструкций для установки штампов в шурфах (котлованах) и два типа установок для скважин.

Комплекты для установки штампов в шурфах (котлованах)

Комплект для установки штампа в шурфах методом упора в стенки (рис. 10). Опускаются деревянные упорные щиты, которые сразу же устанавливаются у намеченных стенок. Спускается гидравлический домкрат и устанавливается на стойку штампа. Для соблюдения соосности домкрата и штампа стойка должна быть оборудована четырьмя пластинами-фиксаторами или специальным бортиком, внутренний диаметр которого должен точно соответствовать диаметру домкрата. На домкрат укладывается траверса. При помощи стержня, пропущенного че-

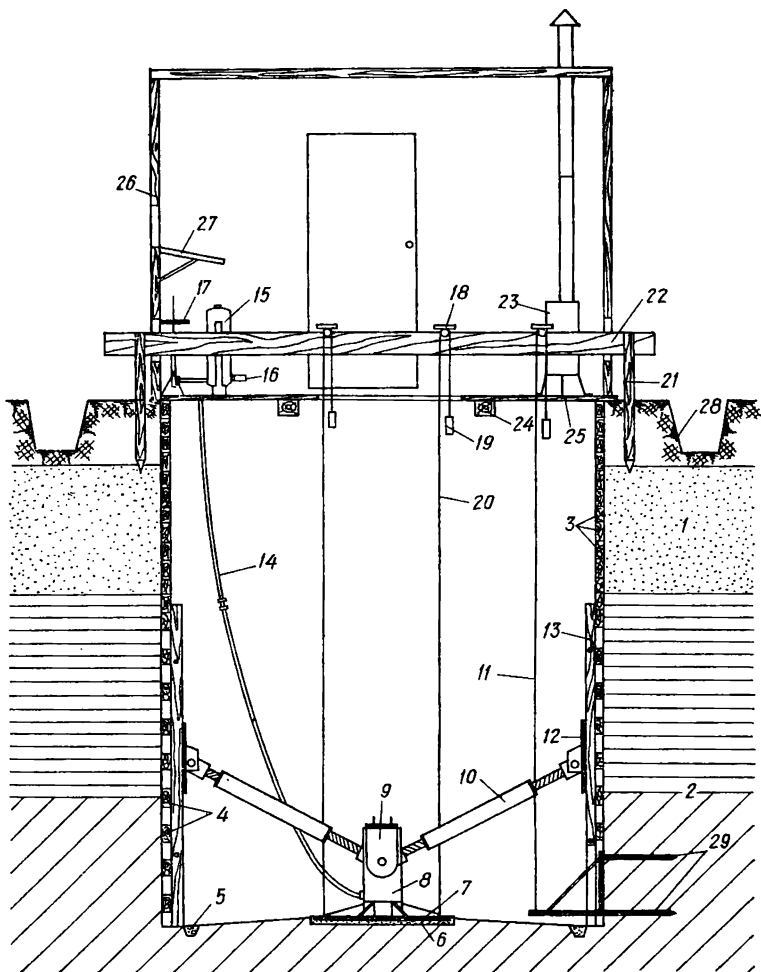


Рис. 10. Установка упором в стенки конструкции института Укр-ГИИНТИз:

1 — сыпучие грунты; 2 — связные грунты; 3 — сплошное венцовое крепление; 4 — венцовое крепление вразбежку; 5 — места отбора проб ненарушенной структуры; 6 — песчаная подушка; 7 — штамп; 8 — гидравлический домкрат; 9 — упорная скоба (траверса); 10 — двухвинтовой наклонный распор; 11 — струна контрольного прогибомера; 12 — упорная щека с кронштейном; 13 — упорный щит; 14 — рукав высокого давления; 15 — насосная станция; 16 — манометр; 17 — гидравлический стабилизатор давления; 18 — прогибомер; 19 — оттягивающая гиля 1,5—2,0 кг; 20 — струна рабочего прогибомера; 21 — свайка; 22 — доска (брус) для крепления прогибомеров; 23 — печь с дымовой трубой; 24 — лага; 25 — дощатый пол со смотровым люком; 26 — сборно-щитовой домик; 27 — откидной столик; 28 — водосборная канава; 29 — реперное устройство контрольной системы.

рез отверстия в горизонтальной плоскости траверсы и в головке домкрата, совмещаются их вертикальные оси. После этого в шурф спускаются упорные щеки, которые крепятся на упорных щитах на высоте, обеспечивающей угол наклонных распоров к горизонту в пределах $23—25^\circ$.

Дальнейший монтаж следует проводить с корректировкой положения траверсы и упорных щек в плане. Для этой цели следует использовать капроновый шнур, который поможет предварительно установить в одной вертикальной плоскости оси каждой пары взаимно противоположных упорных щек и соответствующих им кронштейнов траверсы, а саму траверсу — параллельно стенкам шурфа. Далее, при помощи двух пальцев траверса шарнирно соединяется с наклонными распорами, после чего последние соединяются с упорными щеками. Несовпадение проушин распоров с кронштейнами щек должно ликвидироваться перемещением последних. При правильно проведенной разметке шурфа длина всех распоров должна быть одинаковой, это гарантирует от перекосов и поломки оборудования в процессе опыта. После окончательной проверки ответственным исполнителем соосности штампа, домкрата и траверсы, правильности угла наклона распоров, их параллельности между собой в плане, горизонтальности верхней плоскости траверсы и параллельности продольной оси траверсы стенкам шурфа окончательно может быть зафиксировано положение упорных щек.

После проведенных операций домкрат подключается к гидравлической системе, включающей в себя насосную станцию и гидростабилизатор давления. Предохранительный колпачок со штуцера домкрата, как и предохранительная пробка в зажимной гайке на свободном конце шланга высокого давления, снимается только перед подключением. Затем в систему подкачивают масло до выхода поршня не более чем на $0,5—1,0$ см или до ликвидации свободных перемещений траверсы. Давление в гидравлической системе контролируется при этом по манометру и не должно превышать $0,2—0,5$ давления на первой ступени предварительного уплотнения. Если при выходе поршня домкрата на $1,0$ см люфт траверсы не ликвидирован, необходимо добиться этого последовательным вывинчиванием от руки каждого из четырех наклонных распоров. Ключи следует применять лишь в исключительных случаях. Вывинчиваются распоры и в тех случаях, когда угол их наклона стал меньше 23° . При вывинчивании распоров запорный клапан сброса масла из системы в бачок насосной станции должен быть приоткрыт. Контроль за величиной давления продолжается до завершения операции. Если поршень домкрата утоплен полностью, вывинчивание наклонных распоров должно быть прекращено, ибо создаваемые нагрузки не могут быть проконтролированы. Весьма близки к описанному комплексу конструкции НИИОПС (рис. 11) и Киевпроекта (рис. 12).

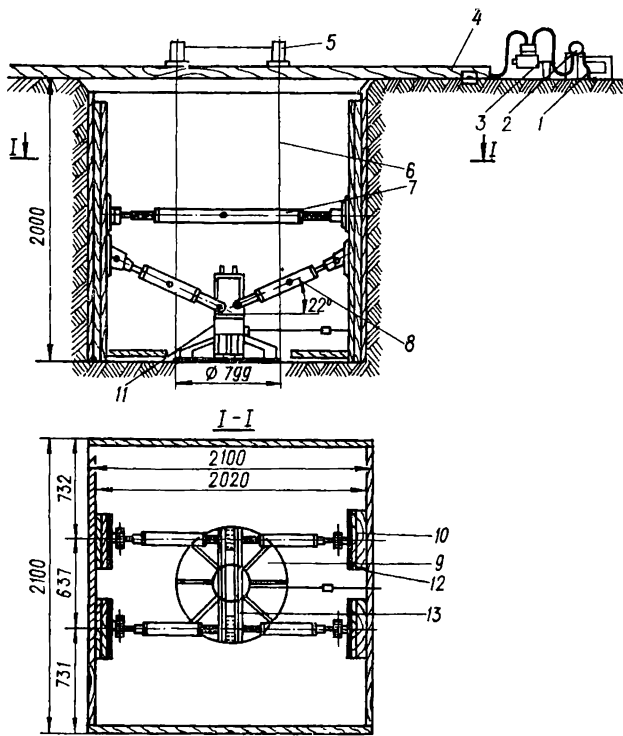


Рис. 11. Установка упором в стенки конструкции НИИОПС:

1 — 3 — автоматическое устройство для поддержания заданного давления в гидродомкрате; 4 — реперное устройство; 5 — прогибомеры; 6 — струны; 7 — горизонтальные винтовые распоры; 8 — наклонные винтовые упоры; 9 — штамп; 10 — упорные щиты; 11 — гидродомкрат; 12 — упорная плита; 13 — траверса.

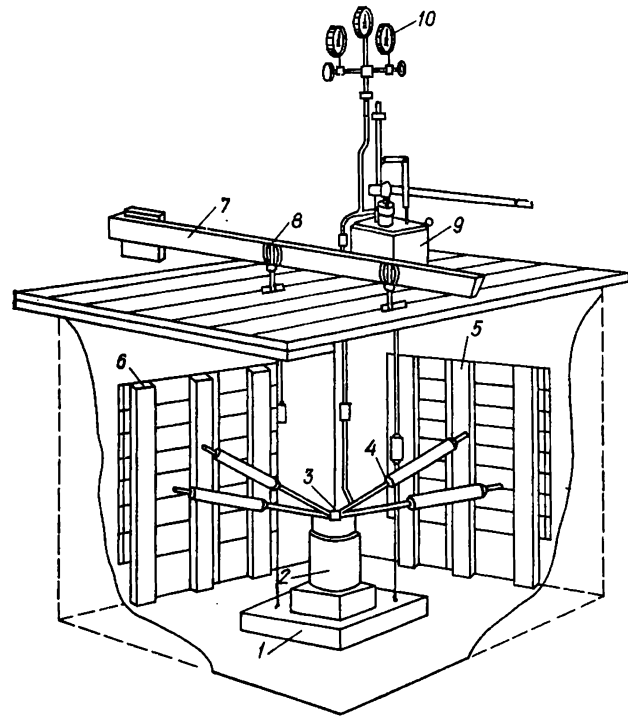


Рис. 12. Установка упором в стенки конструкции Киев-проект:

1 — штамп; 2 — гидродомкрат; 3 — упорная скоба; 4 — наклонные винтовые распоры; 5 — швеллерные стойки; 6 — упорные щиты; 7 — реперное устройство; 8 — прогибомеры; 9 — насосная станция; 10 — манометры.

Комплект для установки штампа в шурфах (котлованах) методом упора в неподвижную грузовую платформу или железобетонную балку (рис. 13). Над устьем шурфа устанавливается направляющий хомут, который по отвесу центрируется относительно стойки штампа. Хомут неподвижно закрепляется при помощи двух анкерных свай. При отсутствии свай хомут может

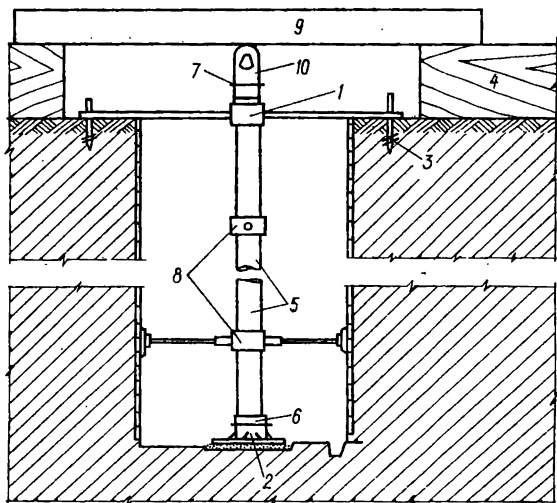


Рис. 13. Установка упором в неподвижную грузовую платформу или железобетонную балку:

1 — направляющий хомут; 2 — стойка штампа; 3 — анкерные сваи; 4 — опорные плиты; 5 — стойки из труб 219 мм; 6 — нижний фланец; 7 — верхний фланец с полочкой для домкрата; 8 — промежуточные направляющие хомуты; 9 — грузовая платформа или железобетонная балка; 10 — гидравлический домкрат.

быть скреплен с опорными плитами, если последние достаточно массивны. Измеряется расстояние от хомута до стойки штампа и производится предварительная подборка секций стойки, изготовленных из толстостенной обсадной трубы диаметром не менее 219 мм.

Для спуска стоек наиболее удобно использовать сборную металлическую вышку с ручной лебедкой. Операция по спуску стоек аналогична спуску обсадных труб меньшего диаметра в закрепленную скважину и поэтому здесь детально не рассматривается. Вес оборудования, включая штамп, стойки и домкрат, учитывается при производстве нагрузок. Чтобы не повторять при каждом опыте процедуру взвешивания, на всех деталях комплекта должны быть сделаны надписи яркой масляной краской о весе в кг. Для большей надежности эти данные следует отчеканить.

Если вес комплекта превышает 10% веса груза на первой ступени уплотнения, вышка должна быть оборудована устройством для установки противовеса.

В шурф опускается первая секция стойки. На нижний конец трубы после пропуска его через направляющий хомут навинчивается фланец с отверстиями для болтов. Точно таким же фланцем должна быть оборудована и стойка штампа. Постепенно на-

ращивая стойку, плавно опускают ее на штамп и подбирают верхнюю секцию. Последняя должна быть такой длины, чтобы головка установленного на нее домкрата не доходила на 1,0—5,0 см до нижней плоскости упорной платформы или железобетонной балки, а расстояние от фланца до направляющего хомута обеспечивало беспрепятственную осадку штампа в ходе всего опыта. Стойка приподнимается на 3—5 см, на нее навинчивается последняя секция, верхний конец которой оборудуется полочкой с ограничительным кольцом, обеспечивающим установку домкрата соосно всей системе.

После этого вся колонна плавно опускается на штамп и при помощи четырех болтов жестко соединяется с последним. При затяжке болтов необходимо следить, чтобы штамп не сместился в горизонтальной плоскости.

В тех случаях, когда глубина установки штампа превышает 5,0 м, для предотвращения изгиба стойки через каждые 3,0 м необходимо дополнительно устанавливать направляющие хомуты, закрепляя их в стенках шурфа. Первый направляющий хомут на поверхности земли всегда укладывается параллельно длинной оси грузовой платформы или балки. Вторым направляющим хомут на глубине 3,0 м устанавливается в шурфе перпендикулярно предыдущему. Такое чередование направлений соблюдается и при большей длине стоек.

На скрепленную со штампом стойку устанавливается домкрат и замеряется высота его головки над уровнем земли. При необходимости стойка соединяется с противовесом. Опорные плиты целесообразней укладывать после монтажа стойки, так как это помогает избежать простоя автокрана в период между укладкой плит и установкой упорной балки (загрузкой платформы крупногабаритными грузами). Расстояние между плитами должно соответствовать длине упорной балки (грузовой платформы) и обеспечивать безопасность выработки от обрушения стенок. При установке штампа в котловане это расстояние должно исключить «накладку» сжимаемых зон под штампом и под плитами. В качестве опорных плит могут быть использованы детали сборных железобетонных конструкций правильной геометрической формы, имеющие площадь не менее 1,5—2,0 м². Высота плит должна превышать на 2—5 см расстояние от головки домкрата до поверхности земли. Плиты укладываются так, чтобы их геометрические центры находились на одной линии с головкой домкрата. При помощи капронового шнура, натянутого между опорными плитами на уровне их верхней плоскости, проверяется наличие зазора между головкой домкрата и нижней плоскостью упорной балки (грузовой платформы).

Если зазора нет, на плиту можно уложить мелкие детали из железобетона (перекрытия оконных проемов, короткие сваи и т. д.), которые позволяют установить упорную балку или грузовую платформу на требуемой высоте.

Установка грузовой платформы производится так, чтобы оба ее конца плотно улеглись на опорные плиты, а центр симметрии совпал с осью домкрата. Грузы на платформу укладываются симметрично относительно оси домкрата. Грузы должны иметь маркировку по весу. Упорная железобетонная балка укладывается так, чтобы ее центр тяжести совпал с осью домкрата. Вес платформы или балки должен превышать на 10% вес, максимально необходимый для данного опыта. Домкрат соединяется с гидравлической системой.

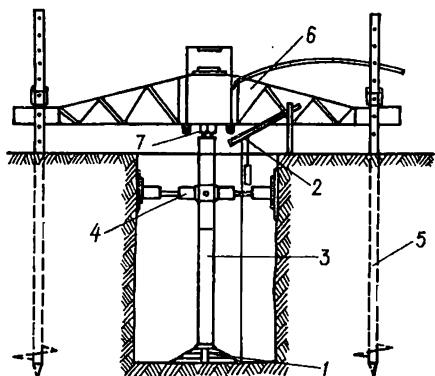


Рис. 14. Установка упором в ферму с анкерными сваями конструкции Института строительства и архитектуры Госстроя БССР:

1 — штамп; 2 — реперное устройство; 3 — стойка; 4 — центрирующее устройство; 5 — анкерная свая; 6 — ферма; 7 — гидравлический домкрат.

Комплект для установки штампа в шурфах (котлованах) методом упора в ферму с анкерными сваями (рис. 14).

Этот комплект от вышеописанного отличается тем, что реактивная нагрузка от домкрата не гасится полностью весом самой платформы или балки, а передается на анкерные сваи. Принцип и последовательность монтажа системы, включая упорную ферму, такие же, как и при монтаже с упором в грузовую платформу, только вместо опорных плит укладываются временные подставки.

После установки домкрата производится укладка на подпорки упорной фермы и разметка мест установки четырех анкерных свай. Анкерные сваи завинчиваются в грунт не ближе 1,0—1,5 м от шурфа на глубину 1,5—2,5 м в зависимости от максимальных нагрузок, предусмотренных программой опыта. При диаметре лопасти ~300 мм и глубине завинчивания 2,5 м ориентировочная величина сопротивления сваи выдергиванию составит 6—8 т в плотных грунтах, 4—6 — в грунтах средней плотности, 3—5 — в слабых грунтах. Хвостовики свай жестко соединяются болтами с фермой.

Весьма близка описанной выше конструкция НИИОПС (рис. 15). При наличии у бригады навыков в монтаже сваи могут быть завинчены во время подготовки гнезда штампа. Для этого необходимо иметь стандартный шаблон (рис. 16). Центральный брус шаблона укладывается над устьем шурфа так, чтобы отвес находился над центром гнезда штампа. После этого за поперечные брусья осторожно, чтобы не сместился отвес, натягиваются капроновые шнуры. Поперечные брусья должны быть строго перпендикулярны шнурам. Концы поперечных бру-

свев указывают места завинчивания анкерных свай. Общая длина капроновых шнуров и продольного бруса должна быть равна расстоянию между отверстиями для болтов по длинной оси фермы. Длина поперечных брусьев соответствует расстоя-

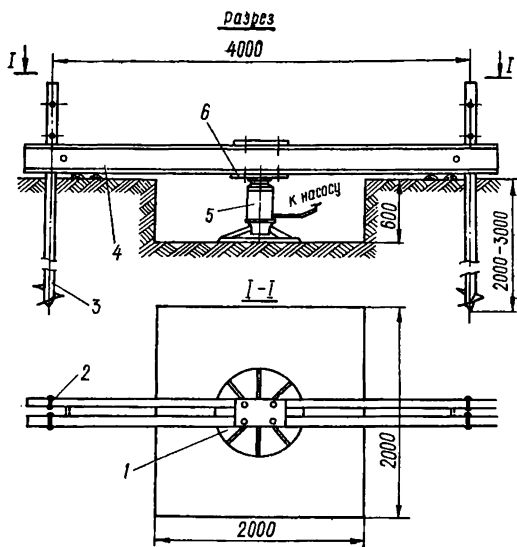


Рис. 15. Установка упором в ферму с анкерными сваями конструкции НИИОПС:

1 — штамп; 2 — металлические вкладыши; 3 — анкерная свая; 4 — упорная балка; 5 — гидравлический домкрат; 6 — центрирующее устройство.

нию между отверстиями для болтов на каждом конце фермы. Часто в практике используется комбинация из двух последних комплектов. Вместо упорной фермы применяются железобетонные балки, вес которых не полностью гасит реактивную нагрузку.

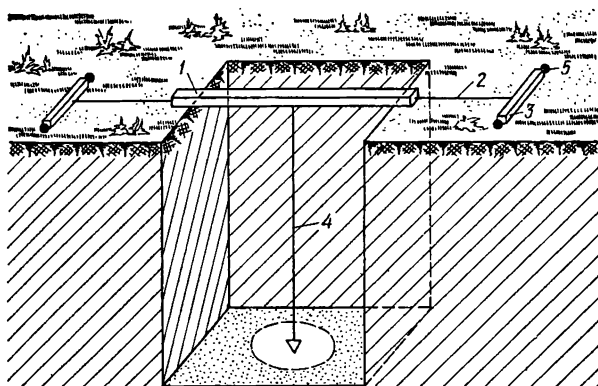


Рис. 16. Шаблон для разметки:

1 — центральный брус; 2 — капроновый шнур; 3 — поперечный брус; 4 — отвес; 5 — места завинчивания анкерных свай.

ку от домкрата. Недостаток веса компенсируется передачей реакции упорной фермы на анкерные сваи. Такая комбинированная конструкция позволяет завинчивать сваи на минималь-

ные глубины и использовать для упоров очень удобные в работе семи-, девятиметровые забивные железобетонные сваи. Крепление анкерных свай к упорным балкам производится при помощи стальных бандажей. В практике до сих пор еще используются подвижные грузовые платформы. Эту конструкцию следует считать устаревшей, так как она требует большого количества рабочих или погрузочных механизмов для периодической укладки грузов. Известна также конструкция с упором в балку, закладываемую в стенки шурфа. Эта конструкция является модификацией описанной выше конструкции с анкерными сваями. Она не может быть рекомендована для широкого применения из-за ряда недостатков. Во-первых, конструкция может быть использована только при больших (более 5,0 м) глубинах установки штампа и только при работе на связных грунтах, так как в иных условиях невозможно приготовить гнезда для балки. Во-вторых, в процессе подготовительных работ и в ходе опыта резко нарушается устойчивость стенок шурфа, подрезанных при подготовке гнезд. При передаче реактивной нагрузки от домкрата через балку на стенки шурфа последние могут обрушиться после того, как будет приподнята и нарушена крепь.

В связи с изложенным технология работ по подготовке опытов с этими конструкциями здесь не рассматривается.

Комплекты для установки штампов в скважинах

В отличие от шурфов в скважинах штампы устанавливаются не отдельно от конструкций, передающих или воспринимающих реакцию нагружения, а совместно с ними. После того как скважина подготовлена для установки штампа, производится ее замер. Расстояние измеряется от забоя до верхнего обреза колонны обсадных труб. Для удобства в работе обсадная колонна не должна выступать над поверхностью земли более чем на 20—30 см. В зависимости от глубины скважины подбирается рабочая колонна труб — стойка. Наиболее целесообразно использовать для стоек трубы диаметром 168 или 219 мм. Основное внимание при этом должно быть обращено на то, чтобы верхняя соединительная муфта стойки находилась ниже устья скважины на 5—10 см, а сама рабочая колонна (стойка) выступала из обсадки не более чем на 30—50 см.

Принципиальная схема монтажа приведена на рис. 17. Над устьем скважины устанавливается тренога, оборудованная рычагом противовеса. В связи с тем, что штамп имеет небольшую площадь и любая неучтенная пригрузка может повлиять на результаты опыта, противовес должен применяться независимо от глубины установки штампа и собственного веса комплекта. Естественно, что вес монтируемых деталей строго учитывается. На нижнюю секцию стойки навинчивается штамп требуемой конструкции. Здесь необходимо иметь в виду следующее:

а) на песчаные грунты, залегающие выше уровня грунтовых вод, и глинистые, имеющие показатель консистенции $B \leq 0,75$, устанавливается обычный круглый, плоский, глухой штамп;

б) на песчаные грунты, залегающие ниже уровня грунтовых вод, и глинистые, имеющие показатель консистенции $B \geq 1,0$, устанавливается штамп с зачистными ножами (рис. 18, 19).

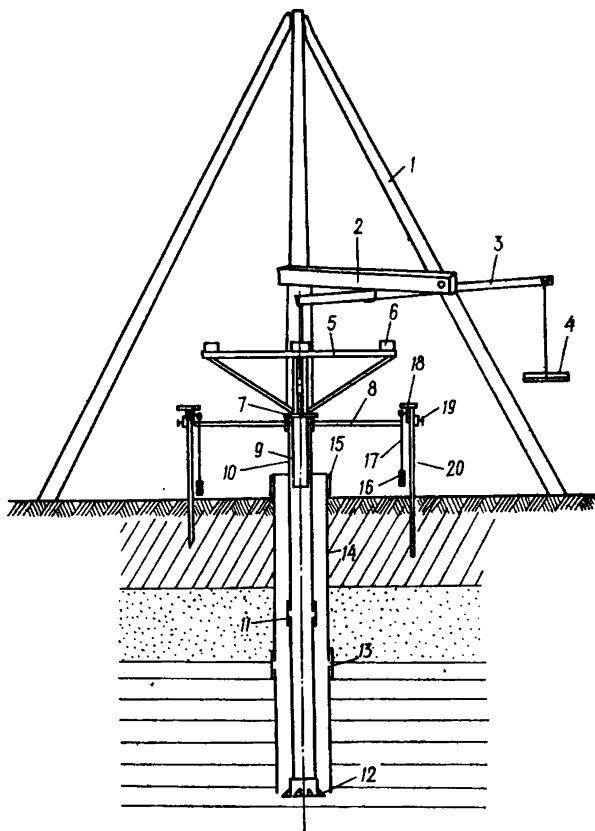


Рис. 17. Установка с подвижной платформой:

1 — тренога; 2 — переключатель; 3 — рычаг противовеса; 4 — груз для противовеса; 5 — платформа; 6 — груз для платформы (чугунные отливки); 7 — полочка; 8 — траверса с муфтой; 9 — направляющая труба 4"; 10 — рабочая колонна (стойка); 11 — муфта; 12 — штамп круглый площадью 500 см^2 , $\text{Ø} 27,7 \text{ см}$; 13 — муфта 12—14"; 14 — обсадная труба 12—14"; 15 — направляющая муфта 12—14"; 16 — оттягивающая гиря 1,5—2,0 кг; 17 — стальная струна сечением 0,3 мм; 18 — прогибомер; 19 — струбина; 20 — свайка.

в) на глинистые грунты, имеющие показатель консистенции $0,75 \leq B \leq 1,0$, устанавливается штамп с фильтром (рис. 20).

После того, как навинчен штамп, на верхний конец секции надевается металлический хомут. Дальнейшие операции по наращиванию и спуску стойки аналогичны спуску обсадных труб в трубах большого диаметра и здесь не рассматриваются. Когда стойка собрана полностью, на верхнюю секцию одевается направляющая муфта и навинчивается траверса. Вся колонна удерживается на весу при помощи троса, пропущенного через блок треноги на лебедку. Надежно затормозив лебедку храповым устройством (трещоткой), со стойки снимают металлический

хомут и навинчивают направляющую муфту на обсадную трубу. Стойка вновь фиксируется при помощи металлического хомута и освобождается от троса. Для предотвращения изгиба труб в процессе сборки и спуска через каждые 6,0 м на стойки одеваются муфты с центрирующими устройствами. Дальнейшие операции зависят от конструкции комплекта.

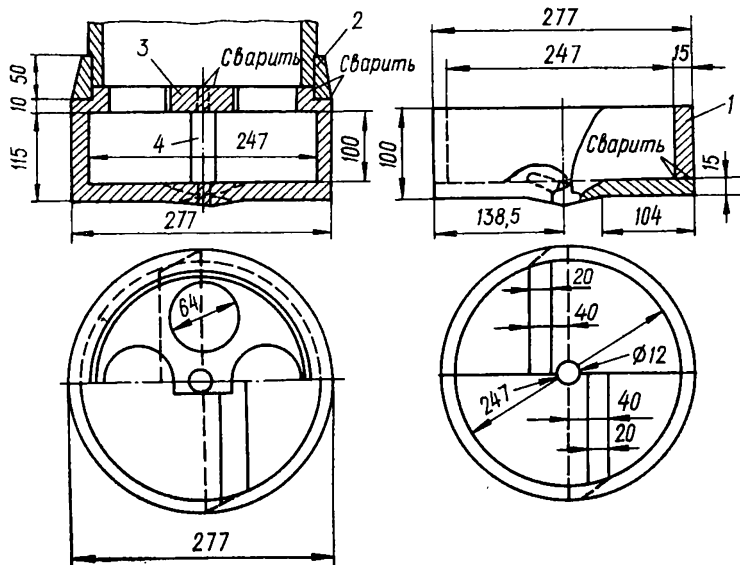


Рис. 18. Штамп площадью 600 см² с ножами для зачистки забоя:
1 — металлический стакан; 2 — стальное кольцо; 3 — крышка стакана; 4 — опорная металлическая стойка.

Установки с подвижной платформой (см. рис. 17). В рабочую колонну вставляется направляющая труба платформы. Платформа опускается до упора полочки о муфту траверсы. Ниже муфты траверсы одевается второй металлический хомут, к которому крепится трос противовеса. На грузовую полку противовеса укладывается груз, уравновешивающий всю конструкцию. Груз должен висеть не выше 0,5 м от поверхности земли. Ответственный исполнитель проверяет правильность крепления противовеса, обращая особое внимание чтобы при натяжке троса не было перекоса стойки. После этого старший рабочий плавно ослабляет гайки нижнего хомута, остальные рабочие придерживают грузовой конец противовеса. Если система находится в устойчивом равновесии (для перемещения стойки в вертикальном направлении достаточно небольшого усилия), упорный хомут снимается, и стойка плавным нажатием руки опускается до касания штампом песчаной подушки. Несколькими полуоборотами стойки штамп притирается к основанию.

Тарированные грузы (обычно это чугунные слитки весом 20—25 кг) укладываются устойчивыми штабелями на широкие доски в равных количествах около каждого угла платформы. Платформа должна быть не выше 1,5 м от поверхности земли. Если это условие не удалось выполнить, то с двух сторон, параллельных траверсе, должны быть установлены полати высотой 30—40 см, стоя на которых рабочие смогут аккуратно и без ударов укладывать грузы.

Установка упором в ферму с анкерными сваями (рис. 21). На муфту траверсы навинчивается патрубок с полочкой для домкрата и устанавливается домкрат. При помощи шаблона размечаются места завинчивания анкерных свай. В отличие от опытов в шурфах, здесь достаточно двух свай. На домкрат устанавливается упорная ферма, которая соединяется со сваями при помощи бандажей или болтов. Домкрат соединяется с насосной станцией и производится пробная прокачка системы с одновременной проверкой длины свободного хода поршня до упора в ферму. Если свободный ход поршня чрезмерен, то после сброса масла ферма должна быть опущена. Достигается это, в зависимости от конструкции комплекта, подкладыванием шайб под гайки на анкерных болтах, завинчиванием свай на большую глубину, креплением подкладок к упорной ферме над домкратом. Далее на стойку под полочку устанавливается металлический хомут, к которому крепится трос противовеса. После уравновешивания комплекта осторожно ослабляются гайки нижнего хомута и он снимается. Легким нажатием на стойку штамп устанавливается на забой и притирается к песчаной подушке.

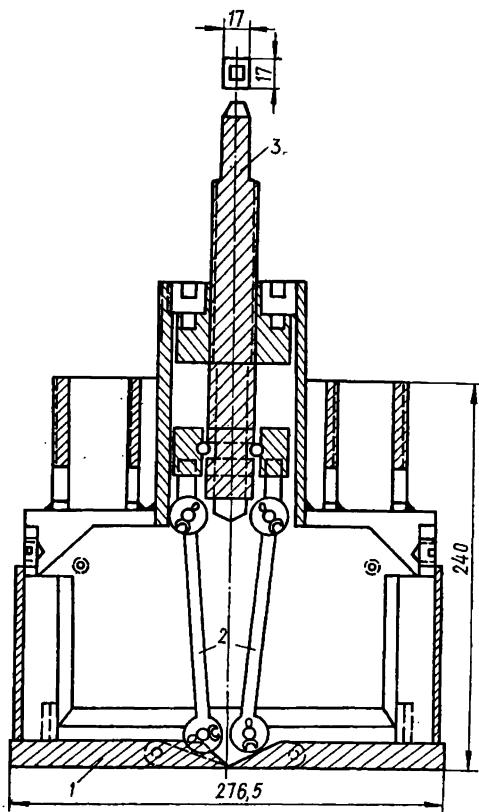


Рис. 19. Штамп площадью 600 см² с раскрывающимися ножами для зачистки забоя:

1 — нижняя плита; 2 — рычажное устройство для перемещения ножей; 3 — шток с сальниками.

Если трение обсадных труб о грунт превышает реакцию от давления домкрата на штамп, анкерные сваи можно не устанавливать, а ферму (упор) закрепить через металлические тяги на обсадных трубах (рис. 22).

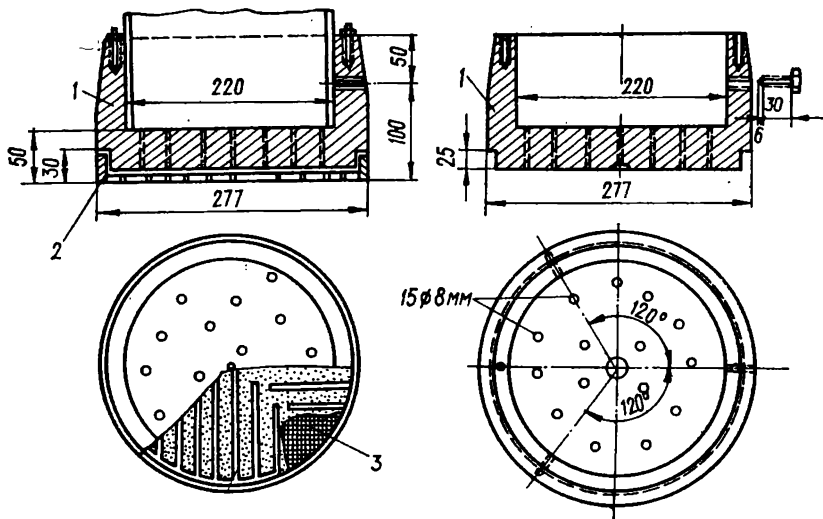


Рис. 20. Штамп площадью 600 см^2 с фильтром;

1 — металлический стакан; 2 — медное кольцо; 3 — медная сетка ($d=0,25 \text{ мм}$).

В последние годы весьма широко применяется канатно-рычажное устройство (КРУ-600) конструкции Уральского треста инженерно-строительных изысканий.

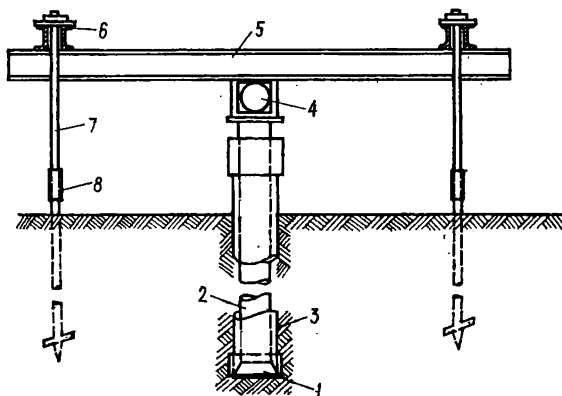


Рис. 21. Установка для испытаний грунтов в буровых скважинах упором в ферму с анкерными связями:

1 — штамп; 2 — рабочая стойка; 3 — колонна обсадных труб; 4 — гидравлический домкрат; 5 — ферма; 6 — подкладки; 7 — винтовая анкерная свая; 8 — соединительная муфта свай.

Кроме описанных конструкций известен еще целый ряд их модификаций и комбинаций нескольких типов. Так, штампы могут устанавливаться в скважинах, пройденных в забоях шур-

фов. В этом случае могут быть использованы любые конструкции, применяемые для восприятия реакции или передачи давления при установке штампов в шурфах и котлованах (рис. 23).

При использовании автоматических систем записи осадок и поддержания заданного давления необходимые приборы и при-

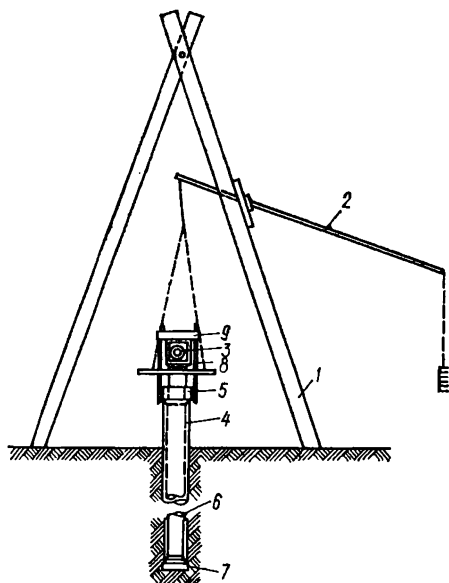


Рис. 22. Установка для испытания грунтов в буровых скважинах упором в обсадные трубы:

1 — тренога; 2 — рычаг противовеса; 3 — гидравлический домкрат; 4 — колонна обсадных труб; 5 — направляющая муфта; 6 — рабочая стойка; 7 — штамп; 8 — тяга; 9 — упор.

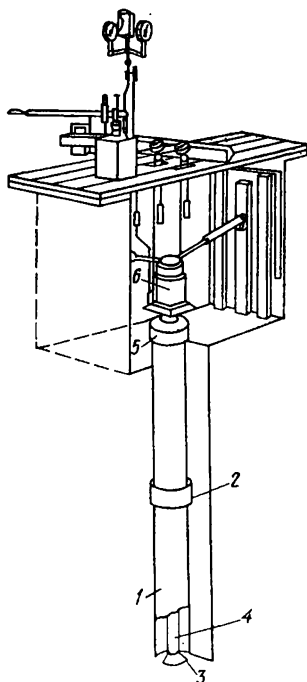


Рис. 23. Установка для испытания грунтов в скважинах упором в стенки шурфа:

1 — колонна обсадных труб; 2 — соединительная муфта; 3 — штамп; 4 — рабочая стойка; 5 — направляющая муфта; 6 — гидродомкрат.

способления устанавливаются после завершения всех заключительных операций и мероприятий по предохранению оснований.

Описанные ниже операции по окончательной подготовке основания производятся только в шурфах и котлованах в тех случаях, когда это необходимо. К таким операциям относятся: предохранение основания от высыхания и промерзания и подготовка основания для искусственного замачивания.

Мероприятия по предохранению основания

При производстве работ в жаркие периоды года, когда имеются условия для интенсивного испарения влаги, грунт в процессе опыта может существенно подсохнуть, что обязательно скажется на результате испытаний. Показатели деформативных свойств окажутся завышенными. Во избежание высыхания грунта необходимо создать предохранительный слой. Наиболее пригодны для этой цели древесные опилки, которые смачиваются водой до влажности, близкой к естественной влажности грунта. Укладываются опилки ровным слоем мощностью 10—20 см.

В зимние периоды года основание может промерзнуть и, следовательно, потерять в какой-то мере способность сжиматься под нагрузкой. Утеплять основания лучше всего сухими опилками — слоем мощностью 30—50 см.

Опилки должны закрывать не только дно шурфа или опытной площадки в котловане, но и плиту штампа.

При отсутствии опилок защитный чехол в обоих случаях может быть создан из местного немерзлого грунта, который укладывается без уплотнения ровным слоем мощностью 30—50 см.

Мероприятия по подготовке основания для искусственного замачивания

При подготовке опыта с искусственным замачиванием необходимо создать условия для равномерного и быстрого насыщения грунтов основания водой. Для этого в дне шурфа следует пробурить 6—8 поглощающих скважин диаметром 89—108 мм, глубиной, равной 1—1,5 диаметра штампа. Размещаются скважины равномерно на концентрической окружности, радиус которой должен быть равен 1,5 радиуса штампа. Бурение скважин наиболее удобно производить ударным способом, буровым станком. Во избежание загрязнения спланированной площадки грунт следует выбивать из наконечника в бадью. Для последующего контроля за изменением влажности в одной из скважин производится отбор проб грунта нарушенной структуры в бюксы. Интервал отбора — 0,20 м. После парафинирования бюксы следует упаковать и указать в ведомости: «до опыта».

После того, как бурение поглощающих скважин завершено, в шурфе остается один старший рабочий, который окончательно очищает забой, убирает доски со дна шурфа. Если в процессе монтажных и подготовительных работ на поверхности грунта образовались уплотненные корочки, они должны быть срезаны и извлечены из шурфа. Эта операция производится непосредственно перед засыпкой песка в скважины и укладкой дренирующего слоя. В скважины засыпается песок средней крупности или мелкий гравий. Из такого же песка по всему забою укладывается нижняя часть (5—6 см) дренирующего слоя.

Верхняя часть (3—4 см) состоит из крупного или гравелистого песка. Для предохранения от размыва песчаная подсыпка перекрывается слоем щебня. Общая мощность дренирующего слоя не должна превышать 12—15 см (рис. 24). Для наблюдения за уровнем воды в шурфе в процессе опыта в двух противоположных углах дна забиваются мерные колышки высотой 20—25 см.

Подачу воды в шурф удобней всего производить по резиновому шлангу с внутренним диаметром 20—25 мм. Нижний конец шланга следует оборудовать раструбом со струеобразующей сеткой. Раструб укладывается на металлическую решетку или лист густо перфорированного железа, с которым он жестко соединяется при помощи проволоки или пенькового шпагата. В тех случаях, когда вода для искусственного замачивания может быть получена из водопроводной сети, прокладывается временная нитка водопровода, которая соединяется с заливочным шлангом через водомерное устройство. Наиболее пригодны водомеры с пропускной способностью до 1,0 м³ в течение 1 ч. Если

замачивание проводится привозной водой, то вблизи шурфа, на расстоянии 5—6 м от его устья должен быть установлен бак емкостью 2—3 м³ воды. Наиболее удобны баки правильной формы, имеющие по вертикали выдержанное сечение. Это облегчает вычисление объема залитой воды по замерам понижения уровня. Замеряют понижение мерной рейкой.

В опытах на грунтах естественной влажности, после завершения монтажа и всех мероприятий по подготовке и предохранению основания, необходимо принять меры для предотвращения попадания поверхностных вод в шурфы или затрубное пространство скважин. Для этого вокруг шурфа или опытной пло-

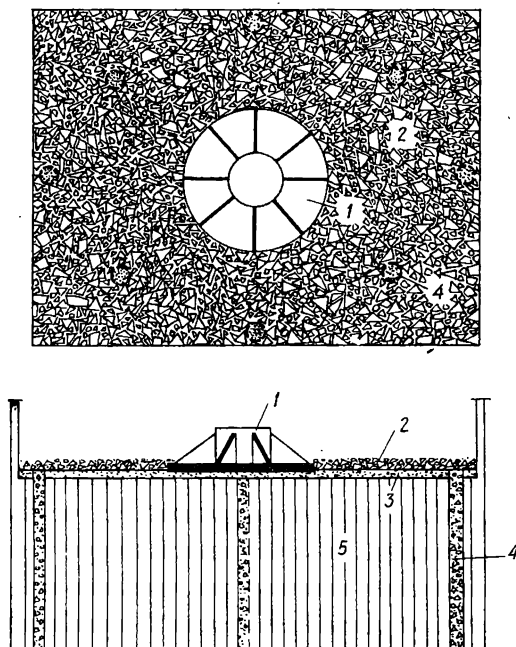
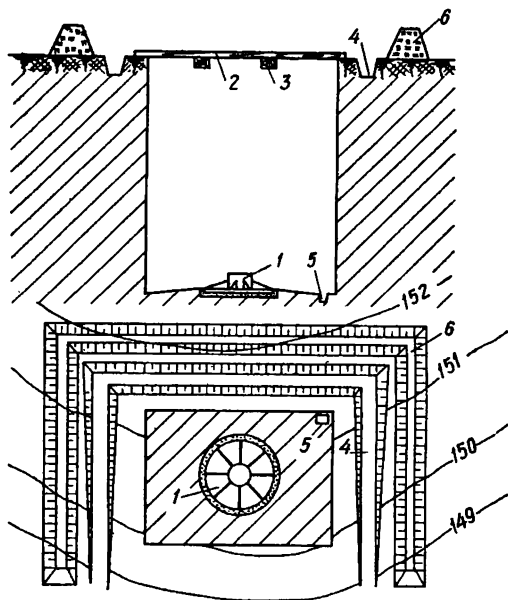


Рис. 24. Основание, подготовленное для испытания глинистых грунтов на сжатие с искусственным замачиванием:

1 — штамп; 2 — слой щебня; 3 — песчаная подушка; 4 — поглощающая скважина с песчано-гравийной засыпкой; 5 — испытываемый грунт.

щадки в котловане выкапывается канава для перехвата и сброса воды (рис. 25). Вдоль канавы, по ее внешнему краю выкладывается валик из вынутаго грунта. Канава и валик размещаются так, чтобы оставить удобный подход к выработке и приборам. Вокруг скважины насыпается холмик из утрамбованного местного грунта, обеспечивающий сток воды в стороны.



Установка реперного устройства

Заключительной операцией монтажа является установка реперного устройства, прогибомеров и стальных струн.

Реперное устройство для испытаний в шурфах и котлованах состоит из четырех свай и двух брусьев (рис. 26), длина которых должна обеспечивать забивку свай не ближе 1,5—2,0 м от стенок шурфа или устья скважины. Брусья укладываются над устьем шурфа, параллельно стенкам, в которые упираются распоры или рядом с которыми завинчены сваи (уложены опорные плиты). При помощи отвесов,

Рис. 25. Простейшие мероприятия по предохранению грунтов от замачивания атмосферными водами:

1 — штамп; 2 — дощатый настил; 3 — лаги; 4 — водосборная канава; 5 — водосборный приямок; 6 — обвалование местным грунтом.

выводимых на точки прикрепления к штампу стальных струн, определяется рабочее положение обоих брусьев. Брусья лучше всего устанавливать параллельно. Вплотную к брусьям устанавливаются сваи и забиваются в грунт до отказа; но не менее чем на 50—70 см. Брусья прибиваются к сваям на высоте 30—50 см и для придания большей жесткости системе «связываются» двумя—тремя поперечинами. Устье шурфа закрывается дощатым щитом, после чего производится установка струбцин с блочками. Каждый блок при помощи отвеса устанавливается над точкой прикрепления к штампу стальных струн, а при испытании в скважине — над точкой прикрепления струн к траверсе.

Правильность выбора места первого блочка должна быть сразу же проконтролирована руководителем работ. Следует иметь в виду, что любое отклонение первого блочка от упомяну-

той вертикали приводит к искажениям величин осадки в сторону уменьшения и, соответственно, к завышению характеристик деформативных свойств грунтов. Прогибомеры устанавливаются на краях брусьев, к которым обеспечены удобные и безопасные подходы. После установки струбцин с блочками и прогибомерами к заранее вытянутым в течение суток при помо-

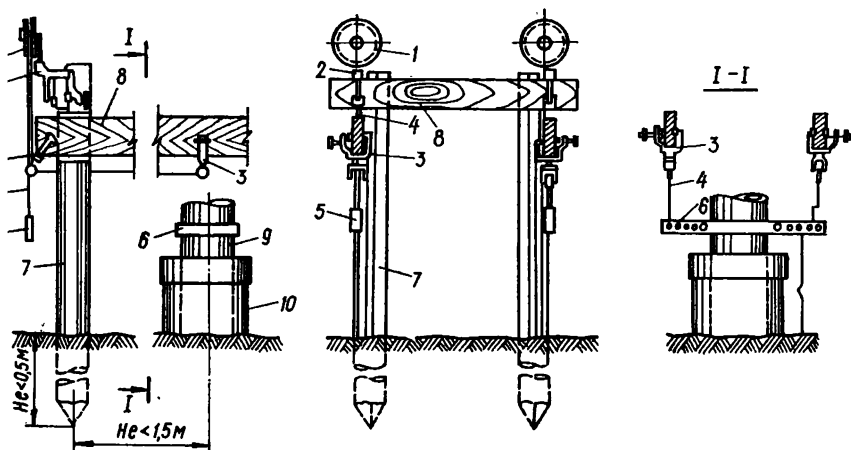


Рис. 26. Схема реперного устройства:

1 — прогибомер; 2 — струбцина; 3 — струбцина с блочком; 4 — струна; 5 — оттягивающая гиря; 6 — траверса; 7 — свайки; 8 — реперные брусья; 9 — рабочая стойка; 10 — обсадная труба с направляющей муфтой.

щи 4-килограммовых гирь стальным струнам прикрепляются 2-килограммовые гири. Старший рабочий спускается в шурф и надежно, лучше всего при помощи карабинчиков, прикрепляет нижние концы струн к штампу. Сверху в шурф спускается отвес, переброшенный через блокоч третьего, контрольного или «поправочного», прогибомера, закрепленного на одном из реперных брусьев, и намечается место установки неподвижного репера. Последний должен быть установлен на той же высоте, где прикреплены к штампу стальные струны от рабочих прогибомеров. К реперу также прикрепляется струна. Каждая струна перебрасывается через блокоч и выводится на барабан прогибомера, вокруг которого наматывается одним витком. При наматывании следует внимательно следить, чтобы не произошел нахлест струны. Легким нажатием на струну проверяется правильность намотки. Если стрелка прогибомера ПМ-3 отклоняется против часовой стрелки, следует снять проволоку с барабана и развернуть прогибомер на 180°. При работе с конструкцией упором в стенки для реперного устройства можно использовать только один брус и все прогибомеры устанавливать на нем непосредственно над местами прикрепления стальных струн к

штампу и неподвижному реперу. В этом случае отпадает необходимость в установке промежуточных блочков.

Ответственный исполнитель при помощи отвеса окончательно проверяет вертикальность стальных струн. Все отклонения ликвидируются перемещением струбины с блочком (прогибоме-ром). Все прогибомеры выводятся на нулевые отсчеты. Если опыт будет проходить в условиях искусственного замачивания, производится нивелировка реперного устройства по колышкам с постоянного репера, находящегося вне зоны влияния замачивания, но не ближе двойной мощности просадочной толщи. Палатка или сборный домик устанавливаются над шурфом, что обеспечит относительное постоянство температуры и влажности, или в непосредственной близости от места опыта.

Вспомогательные операции, проводимые параллельно с подготовкой основания

Проверка манометров. Все манометры, используемые в работе, должны проверяться не реже одного раза в месяц в «Палате мер и весов». Кроме этого, рабочий манометр проверяется перед каждым опытом. Наиболее просто проверка производится при помощи образцового манометра, который подключается к насосной станции через переходник, ввинчиваемый в выводной штуцер насосной станции. Подкачивая масло в камеру насосной станции, наблюдатель снимает и записывает показания рабочего и образцового манометра. Подкачка производится до давлений, превышающих на 50% максимальные давления, ожидаемые в опыте. По снятым парам отсчетов ответственным исполнителем строится график (рис. 27) в координатах $P_{\text{раб}} = f(P_{\text{обр}})$, который в дальнейшем будет использован при назначении величин давлений на каждой ступени нагрузки.

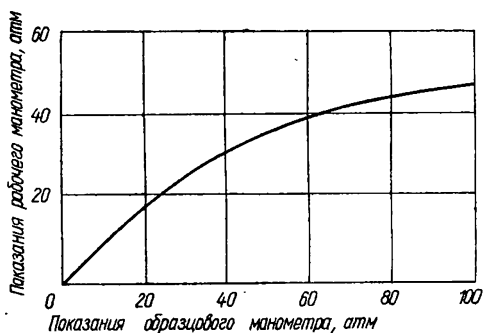


Рис. 27. График тарировки рабочего манометра по образцовому.

Проверка исправности маслопроводов производится осмотром каждой секции. Все шланги с трещинами, порезами и другими внешними дефектами должны быть заменены. Собранная система под-соединяется к гидростабилизатору, на который укладывается груз, соответ-

ствующий предполагаемому максимальному давлению в опыте. В систему нагнетается масло до давления, при котором шток гидростабилизатора начинает выдвигаться, и производится проверка

всех стыков. Если выявлены участки течи, открывается сливной кран насосной станции, давление сбрасывается и принимаются меры для ликвидации течи. Для этого затягиваются гайки штуцеров или заменяются уплотнительные шайбы из красной меди, резьбовые соединения смазываются консистентной смазкой.

Проверка прогибомеров. При вращении барабана ход стрелки должен быть плавным, без толчков и торможений. Если лимб или стекло прибора загрязнены, их следует протереть до блеска. Одновременно производится смазка подшипника барабана.

Проверка приборов. Если в опыте используются приборы, потребляющие электроэнергию, источники ее, аккумуляторы и батареи, должны быть проверены и в случае необходимости заменены.

Составление таблиц. В составляемой таблице необходимо отразить следующее:

величины давления на каждой ступени нагрузки в *атм* и *кг* и соответствующий им вес грузов для гидростабилизатора в *кг*; указать величину бытового давления;

деформацию труб в *мм* на каждой ступени нагрузки; продолжительность ступеней предварительного уплотнения;

интервал времени между снятием отсчетов;

продолжительность условной стабилизации на каждой ступени (табл. 5).

Таблица 5

Номер ступени	Нагрузка на штамп		Вес груза на гидростабилизаторе, кг	Деформация труб при нагрузке, мм	Продолжительность ступеней предварительного уплотнения, мин	Интервал снятия отсчетов на каждой ступени	Продолжительность условной стабилизации, ч
	кг/см ²	атм					
1	0,25	5	10	0,003	5		
2	0,50	10	20	0,006	5		
3	0,75	15	30	0,009	—	1-й час — через 10 мин;	1,0
4	1,00	20	40	0,012	—	2-й час — через 20 мин;	1,0
5	1,25	25	50	0,015	—	далее через 1 ч	1,0
6	1,50	30	60	0,018	—	до условной стабилизации осадки	1,0
7	1,75	35	70	0,021	—		1,0
8	2,00	40	80	0,024	—		1,0
9	2,25	45	90	0,027	—		1,0

Собственно опыт

В соответствии с программой работ, по табл. 5 производится нагружение штампа до удельного давления первой ступени предварительного уплотнения. В журнал (приложение 1) вносится первая запись: дата и время нагружения, удельное давление, общий вес груза (показания манометра), показания прогибомеров. Следующее снятие показаний приборов производится по

истечении времени, указанного для ступени предварительного уплотнения. Все показания приборов заносятся в журнал во второй строке. Затем переходим к следующей ступени нагрузки предварительного уплотнения. По достижении нагрузки, равной бытовому давлению, наблюдатель снимает отсчеты по графику времени, установленному для основных ступеней нагрузки. Между снятиями отсчетов обрабатывают результаты наблюдений и подсчитывают осадку за каждый час опыта. По достижении условной стабилизации осадки переходят на следующую ступень нагрузки и так до намеченной ступени нагрузки или появления признаков разрушения оснований. После этого приступают к разгрузке. В журнале этот этап фиксируется записью — «Разгрузка». Разгрузка производится теми же ступенями, что и нагрузка. Каждая из ступеней выдерживается в течение 1 ч, последняя ступень (при бытовом давлении) выдерживается 3 ч. Отсчеты снимаются через каждые 30 мин.

В связи с тем, что наблюдения ведутся круглосуточно, необходимо при передаче смен обеспечить преемственность работ. Для этой цели наблюдатель, сдающий дежурство, должен снять последний отсчет в присутствии принимающего. При нем принимающий должен проверить соответствие показаний приборов записям в журнале. Передача дежурства оформляется подписями в примечаниях. Подпись сдающего проставляется в последней строке журнала, заполненной при принимающем, подпись принимающего проставляется строкой ниже. Если при передаче дежурства отмечены какие-либо отклонения от программы опыта, об этом записывается в примечаниях за подписью обоих наблюдателей.

Порядок производства опыта с искусственным замачиванием практически аналогичен описанному выше. Отличие заключается в том, что в процессе исследований основание под штампом искусственно насыщается водой.

В последние годы широко применяются исследования просадочных свойств грунтов штампами. В связи с этим в литературе неоднократно поднимался вопрос о рациональном методе исследований с замачиванием. По аналогии с компрессионными испытаниями были предложены методы одной и двух кривых. Оба метода имеют своих авторитетных сторонников и оппонентов. Не вдаваясь в анализ преимуществ или отрицательных сторон, отметим лишь, что метод одной кривой требует меньше времени и оборудования, он более точно моделирует работу сооружений, так как замачивание грунта производится при нагрузках, предусмотренных строительной частью проекта. Как недостатки отметим следующее:

а) если нагрузки, при которых производится замачивание, будут существенно отличаться от проектных, то результаты опытов нельзя использовать с достаточной степенью достоверности при прогнозах работы сооружений;

б) нагрузка, при которой намечено провести замачивание, может оказаться чрезмерной для водонасыщенного грунта, и он будет работать в конечной стадии фазы сдвигов. Иными словами, если и не произойдет «продавливание» грунта штампом, то возможность определения предела пропорциональности и выявления линейного участка графика *осадка—нагрузка* будет исключена.

Метод одной кривой. Первая часть опыта проводится точно так же, как и при испытании грунтов естественной влажности. После достижения условной стабилизации на ступени нагрузки, при которой должно проводиться замачивание основания, в шурф заливается вода до уровня, намеченного головками мерных колышков (не более 10 см над уровнем дренирующей засыпки). Уровень воды должен поддерживаться до завершения опыта, включая разгрузку. Записи о количестве залитой воды заносятся в примечания, в строчки, соответствующие времени замера расхода воды. Особое внимание следует уделить поддержанию постоянного уровня, так как неравномерная подача воды может привести к скачкообразному характеру протекания осадки штампа. Наблюдения на этой ступени нагрузки проводятся до условной стабилизации осадки, но не менее 48 ч. В связи с резким возрастанием осадок при работе с гидродомкратами необходимо внимательно следить за давлением и постоянно подкачивать масло в гидравлическую систему. Время 48 ч гарантирует полное водонасыщение основания на всю мощность обжимаемой зоны. Если в течение этого времени не наступила стабилизация осадки, опыт может быть прекращен. Если стабилизация достигнута, то по истечении 48 ч осуществляется переход на следующую ступень нагрузки. На протяжении всего опыта, дважды в сутки, производится нивелировка реперного устройства по реперным колышкам. Необходимо следить, чтобы рейка устанавливалась на колышки без ударов. Если позволяют условия работы, то нивелировку лучше всего приурочить к моменту снятия последнего отсчета на данной ступени нагрузки. Это облегчит введение поправки в замеры осадок.

Метод двух кривых состоит в том, что на каждой исследуемой глубине проводят два параллельных опыта: один — на грунтах естественной влажности, второй — на искусственно замачиваемых грунтах. Для этой цели в непосредственной близости друг от друга проходят два шурфа. Расстояния между выработками, в зависимости от их глубины, могут изменяться от 3,0 до 8,0 м. В одном шурфе испытывают грунты при естественной влажности, в другом — водонасыщенные.

Заливка воды начинается до передачи нагрузок на штамп и не прекращается на протяжении всего опыта, включая разгрузку. Уровень воды в шурфе должен быть постоянным. К нагрузкам можно приступать по достижении условной стабилизации осадок, но не ранее чем через 48 ч после начала замачивания.

Далее опыт проводится и документируется по обычной схеме с той лишь разницей, что дополнительно учитывают и записывают расход используемой для замачивания воды и регулируют нивелировку реперного устройства.

На практике часто встречаются случаи перерывов в опытах, вызванных техническими причинами (выход из строя насосной станции или манометра, обрыв стальных струн, поломка прогибомера, нарушение реперного устройства, выход штока домкрата). Технические неполадки, не влекущие за собой длительного перерыва в опыте (замена насосной станции, манометра, секции маслопровода высокого давления) и не связанные с перестановкой приборов, измеряющих осадку, быстро устраняются с соблюдением правил безопасного ведения работ, после чего опыт можно продолжить, а о перерыве записать в журнале.

При перерывах, вызванных заменой прогибомеров или временным их отключением, опыт не всегда следует браковать. В ряде случаев, за исключением опытов на слабых водонасыщенных глинистых грунтах, можно сохранить опыт. Для этого сразу же после выявления неполадок в журнал записывают время и причины остановки опыта. Если опыт ведется с гидравлическим домкратом, давление полностью сбрасывается, если с тарированными грузами, то вес их уменьшается на одну ступень. После этого с соблюдением правил безопасного ведения работ устраняется авария или техническая неисправность, на прогибомеры навешиваются струны, которые крепятся к штампу и неподвижному реперу. Показания прогибомеров для удобства могут быть выведены на нуль. Принципиального значения это не имеет. В гидравлическую систему нагнетается масло до давления, равного давлению на любой ступени, предшествовавшей аварии, где уже была достигнута условная стабилизация осадки.

В журнале, в строку записывается: «Повторение ступени №... с удельным давлением...». Далее обычным порядком производятся записи времени снятия отсчетов и показания приборов. Получив вторично условную стабилизацию осадки на данной ступени нагрузки, наблюдатель делает запись (лучше цветным карандашом) в примечаниях, например:

Прогибомер I. Новое показание 0,6 равно старому 1,05.

Прогибомер II. Новое показание 1,2 равно старому 1,15.

Прогибомер поправочный. Новое показание 0,05 равно старому 0,20.

Подсчитав разницу между средними значениями старых и новых замеров осадки штампа на данной ступени в нашем примере

$$\frac{1,05 + 1,15}{2} - \frac{0,6 + 1,2}{2} = 1,10 - 0,9 = 0,2$$

и введя ее как поправку во все последующие замеры, мы получим возможность привести к единой системе замеры обеих час-

тей опыта. В данном случае погрешность за счет петли гистерезиса будет сведена к минимуму при последующем камеральном осреднении прямолинейного участка графика *осадка—нагрузка*.

Демонтаж оборудования и опробование основания после опыта

Демонтаж оборудования ведется в обратном порядке по сравнению с монтажом. Все приборы и приспособления сразу же очищаются от земли, насухо протираются и смазываются. Отверстия штуцеров всех составных частей гидросистемы закрываются предохранительными колпачками и пробками. Резьбы обсадных труб рабочих колонн и винтовых распоров зачищаются и смазываются, после чего на трубы навинчиваются предохранительные кольца, а распоры завинчиваются до отказа в кожухи. Поверхность поршня гидродомкрата осторожно очищается от пыли и грязи, смазывается техническим вазелином и утапливается в цилиндр.

Все работы по демонтажу производятся с соблюдением мер по предохранению основания от нарушений. После извлечения штампа в шурфе осторожно срезается песчаная подушка и отбирается монолит. Из скважины монолит отбирается грунтоносом. На этикетке, кроме всех необходимых данных, указывается: «После опыта». Шурф или скважина углубляется на 1,5—2,0 м. Если опыт проводился в шурфе с искусственным замачиванием, до демонтажа оборудования, пока не ушла вода, в дне бурят скважину на 1,5—2,0 м, из которой с интервалами через 0,20 м отбираются пробы грунта нарушенной структуры для определения влажности, а после демонтажа оборудования отбирается монолит.

Все выработки, оставшиеся после опытных работ, тщательно тампонируются, о чем составляют акт обычного образца.

§ 4. КАМЕРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ

Камеральная обработка материалов является очень важной составной частью штампо-опытов, от качества которой существенно зависят окончательные результаты исследований.

Как и в других отраслях инженерной геологии, камеральные работы подразделяются на два этапа: полевая обработка материалов и окончательная камеральная обработка.

В процессе полевых исследований необходимо четко представлять себе картину опыта. Это дает возможность своевременно принимать обоснованные технические решения, а в случае неисправностей приборов и аппаратуры — вовремя выявлять неполадки. Поэтому основной задачей полевой камеральной обработки материалов является преимущественно качественная оценка результатов, которая производится оперативно в ходе опыта.

Испытания грунтов штампами производятся для установления характеристик сжимаемости грунтов и оценки с этой точки зрения исследуемого основания в целом. Поэтому задачей окончательной камеральной обработки является анализ и количественное обобщение полученных материалов, а также оформление их в виде отдельного отчета или специальной главы.

Полевая обработка материалов

Предварительный анализ и качественная оценка конечных и промежуточных результатов опыта возможны только при наличии графика зависимости *осадка—нагрузка*. Для построения такого графика необходимо выполнить ряд подготовительных операций, а именно:

- а) вычислить среднее арифметическое показаний приборов, измеряющих осадку;
- б) вычислить поправку за деформацию проволоки;
- в) произвести расчет деформации труб при установке штампа в скважинах глубиной более 10 м;
- г) вычислить осадку штампа.

Кроме всего, производим расчет расхода воды за единицу времени, если опыт проходит в условиях искусственного замачивания основания.

Выполнив построение графика зависимости *осадка—нагрузка*, можно провести анализ качества опыта и определить нижнюю границу линейного участка (предел пропорциональности).

Вычисление среднего арифметического показаний приборов, измеряющих осадку, производится сразу же после снятия отсчетов. Для этого складываются показания всех приборов и полученная сумма делится на их количество. Результат вписывается в десятый столбец журнала опытной нагрузки (приложение I).

Вычисление величины деформации проволоки. В том случае, если поправка за деформацию проволоки определяется при помощи контрольного прогибомера, она сразу же может быть введена в среднее арифметическое значение показаний приборов, измеряющих осадку. Если контрольного прогибомера нет, то ориентировочные значения поправки могут быть определены по методике, рекомендуемой «Инструкцией по испытанию грунта статической нагрузкой» (И-182-53) Министерства строительства СССР. Полученные материалы обрабатываются и вычисляется поправка на один градус изменения температуры.

Пример. Определить удлинение четырехметрового отрезка проволоки, вызываемое повышением температуры воздуха. Начальная температура окружающей среды $+8^{\circ}$ (показания прогибомера 0,45 мм). Конечная температура $+17^{\circ}$ (показания прогибомера в этот момент 1,10 мм). При увеличении температуры на $\Delta t = 17 - 8 = 9^{\circ}$ приращение длины составило $\Delta l = 1,10 - 0,45 = 0,65$ мм. Поправка за изменение температуры окружаю-

щей среды на один градус при длине проволоки 4,0 м составляет $\Delta S = \frac{0,65}{9} = 0,072$ мм.

Величину деформации труб за счет сжатия при нагрузках штампа в скважинах на глубине, превышающей 10 м, рассчитываем по формуле

$$\Delta = \frac{PL}{FE},$$

где P — полная нагрузка, передаваемая на трубы в месте крепления траверсы с измерительными приборами, кг;

L — длина трубы между штампом и траверсой, см;

F — площадь поперечного сечения труб, передающих нагрузку на штамп, определяемая из формулы $F = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$ см², где D и d , соответственно, внешний и внутренний диаметры трубы;

E — модуль упругости материала труб (обычно 2×10^6 кг/см²).

Поправка на сжатие труб вычисляется для каждой ступени нагрузки.

Деформации труб за счет изгиба должны быть исключены конструктивными мероприятиями (см. § 3).

Для облегчения расчетов величины деформации труб диаметром 168 и 219 мм в зависимости от их длины и прилагаемой нагрузки приведены в таблицах главы III. Рассчитанная величина поправки за деформацию проволоки (в мм) или показания контрольного прогибомера, а в случае испытания грунтов штампами в скважинах — поправки за деформацию труб заносятся в столбец 10 журнала.

Определение полной осадки штампа. Полная осадка штампа равна алгебраической сумме среднего арифметического показаний измерительных приборов и замеренной (рассчитанной) поправки за деформацию проволоки. При записи показаний в журналы осадка обозначается знаком (—), а набухание (+). Действительно, если проволока растягивается, то контрольный прогибомер реагирует на это, имитируя осадку: показания прибора нарастают. Следовательно, для приведения в соответствие замеренной и истинной осадки среднее значение показаний приборов нужно уменьшить на показание контрольного прибора. При сжатии проволоки контрольный прибор имитирует набухание, поэтому среднее значение нужно увеличить на показание контрольного прибора.

Поправка за сжатие труб всегда вычитается из среднего арифметического значения показаний измерительных приборов. Величина полной осадки штампа заносится в 11-й столбец журнала.

Примеры оформления показаний истинной осадки штампа в журнале приведены в табл. А, Б, В.

Запись показаний истинной осадки штампа при наличии контрольного прогибомера

№ п.п	Дата	Время, ч	Температура воздуха в шурфе, град С	Нагрузка, кг/см ²	Показания манометра, ат	Показания прогибомеров, мм		Среднее $\frac{I+II}{2}$, мм	Показания III прогибомера, мм	Осадка штампа от 0, мм
						I	II			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
39	21.V	6,00	10	0,5	10	0,60	0,54	0,57	-0,15	0,42
40	.	7,00	10	0,5	10	0,63	0,53	0,58	-0,15	0,43
41	.	8,00	11	0,5	10	0,74	0,60	0,67	-0,23	0,44
42	.	9,00	13	0,5	10	0,78	0,70	0,74	-0,30	0,44
43	.	10,00	16	0,5	10	0,84	0,80	0,82	-0,38	0,44

Таблица Б

Запись показаний истинной осадки штампа при помощи вычисленной поправки за деформацию проволоки

№ п.п	Дата	Время, ч	Температура воздуха в шурфе, град С	Нагрузка, кг/см ²	Показания манометра, ат	Показания прогибомеров, мм		Среднее $\frac{I+II}{2}$, мм	Поправка на колебания температуры, мм	Осадка штампа от 0, мм	Примечание
						I	II				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	20.V	8,00	10	2,0	38,8	0,84	0,88	0,86	+0,05	0,91	Начальная температура—11°. Δt_{10} — —0,05 мм
24	.	9,00	11	2,0	38,8	0,91	0,93	0,92	0	0,92	
25	.	10,00	13	2,0	38,8	0,93	0,95	0,94	-0,1	0,93	

Примечание. Исходные данные: начальная температура 11°, поправка на 1°—0,05 мм.

Таблица В

Запись показаний истинной осадки штампа при помощи вычисленной поправки за деформацию труб

№ п.п	Дата	Время, ч	Температура воздуха в шурфе, град С	Нагрузка, кг/см ²	Полная нагрузка, кг	Показания прогибомеров, мм		Среднее $\frac{I+II}{2}$, мм	Поправка на деформацию труб, мм	Осадка штампа от 0, мм	Примечание
						I	II				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37	27.VII	13.00	—	1,0	600	0,99	0,97	0,980	0,09	0,89	Ø168 мм $t=7,0$ мм $L=11$ м
38	.	14.00	—	1,0	600	1,00	1,01	1,005	0,09	0,915	
39	.	15.00	—	1,0	600	1,00	1,01	1,005	0,09	0,915	

Примечание. Исходные данные: длина рабочей части трубы Ø168 мм—11 м, толщина стенок—7,0 мм, полная нагрузка на верхний обрез трубы—600 кг.

Получив из табл. В величину поправки при нагрузке 600 кг и длине трубы 11,0 м, наблюдатель вписывает ее в 10-й столбец журнала. Истинную осадку штампа определяем путем вычитания поправки из среднего арифметического значения показаний приборов (столбец 9).

Все величины, записываемые в журнал нагрузок, вычисляет наблюдатель сразу же после снятия очередного отсчета. Руководитель работ или его заместитель проверяет расчеты после каждой смены, о чем делает соответствующую запись в столбце 12 примечаний.

При построении графика зависимости осадки от нагрузки основным отчетным документом полевой камеральной обработки материалов является график зависимости осадка — нагрузка (рис. 28). Он

составляется в процессе опыта. По оси абсцисс откладываются величины удельных давлений P_i , кг/см², а по оси ординат — значения стабилизированных осадок S , мм, соответствующие этим давлениям. ГОСТ 12374—66 рекомендует следующий масштаб графика: для удельных давлений по горизонтали в 1,0 см — 0,25 кг/см², для осадок по вертикали в 1,0 см — 1,0 мм осадки.

В зависимости от способа нагружения, а также сложившихся традиций, графики могут быть двух видов.

На рис. 28, I приведен график, при построении которого, кроме величины удельного давления и соответствующей ему стабилизированной осадки, учитывается и величина осадки за период нагрузки (б—в). Целесообразность построения таких графиков в настоящее время вызывает сомнение, так как при исследовании грунтов штампами в основном используются гидравлические домкраты, которые свели время нагрузки до минимума. Кроме того, удвоенное количество точек усложняет использование графического метода для получения осредняющей прямой. Само же расчленение величины осадки за ступень на два отрезка, отвечающие периоду нагрузки и наблюдений, не имеет практического выхода.

Значительно удобнее форма графика, изображенная на рис. 28, II. Для построения его необходимы только величины стабилизированных осадок, соответствующие каждой ступени нагрузок. На таких графиках без затруднений выделяется уча-

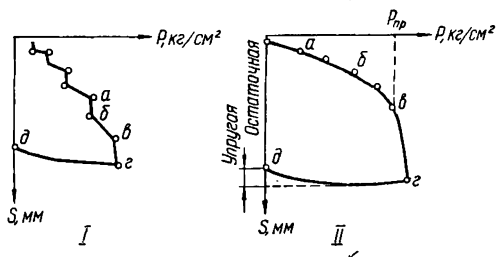


Рис. 28. Графики зависимости осадки от нагрузки:

I — учитывающий отдельно осадку во время нагрузки (б—в) и осадку по достижении заданного давления (а—б и в—г); II — учитывающий только стабилизированную осадку на каждой ступени нагрузки (а—б); г—д — линия разгрузки.

сток линейной зависимости между осадкой и нагрузкой ($a-b$). Причем нет зрительных помех (в виде дополнительных точек) для проведения осредняющей прямой. На графиках любой формы должна быть нанесена линия разгрузки ($z-d$), которая позволяет установить величины упругих и остаточных деформаций для любой ступени нагрузки.

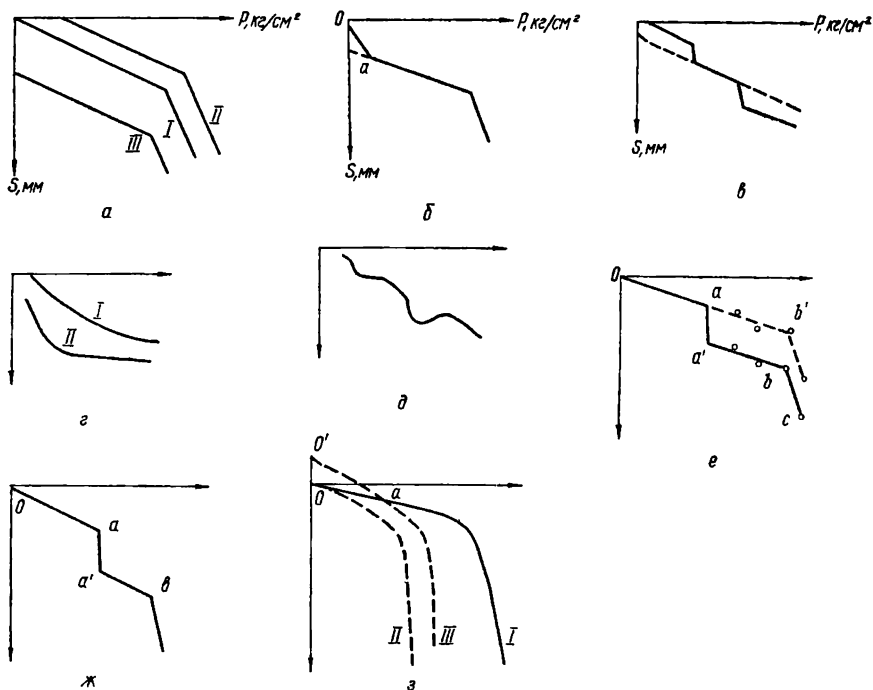


Рис. 29. Типичные графики зависимости осадки от нагрузки.

Анализ качества опыта. Характер и вид графика зависимости осадки от нагрузки позволяет оценить качество опыта и в большинстве случаев выявить технологические причины погрешностей.

Наиболее часто встречающиеся типы кривых показаны на рис. 29. Графики на рис. 29, *a* могут быть использованы для определения модуля общей деформации без каких-либо дополнительных операций. Их отличия заключаются в том, что график II характеризует опыт, проведенный на предварительно уплотненном, а график III — на разрыхленном основании. Уплотнение грунта может произойти по ряду причин. В первую очередь следует отметить уплотнение, которое происходит при подготовке опыта с использованием гидравлических домкратов, когда

штамп устанавливается методом упора в стенки. В этом случае, если усилие, передаваемое на штамп при вывинчивании наклонных распоров, не контролируется по манометру, оно может достичь значительных величин и исказить характер опыта на первых двух—трех ступенях. Аналогичный график может быть получен при установке штампа в скважине, когда не используется противовес и весь вес колонны рабочих труб будет передан на грунт еще до установки измерительных приборов. Уплотнение грунта часто имеет место и при неосторожном спуске инструментов в забой, сопровождаемом ударами, уплотняющими основание. Разрыхление основания происходит при небрежной его подготовке, когда не весь разрыхленный при проходке шурфов или скважин грунт извлекается из-под штампа. Естественное разуплотнение грунта может иметь место и при проходке глубоких скважин и шурфов (более 10 м), когда штамп устанавливается на основании не сразу же по завершению проходки и зачистки забоя, а с некоторым разрывом во времени.

На рис. 29, б сказывается влияние песчаной подушки, которая уплотняется на протяжении первых одной—двух ступеней (О—а). График легко может быть приведен к типу III (рис. 29, а).

При исследовании сжимаемости глин и суглинков с большим количеством щебня и гальки может быть получен характерный ступенчатый график (рис. 29, в), где пологие участки чередуются с крутыми, причем пологие участки почти параллельны друг другу. Ступенчатость графика объясняется периодическим раздавливанием неровностей, выступающих на поверхности основания. Этот график может быть также легко преобразован в один из типов, изображенных на рис. 29, а.

График рис. 29, г по форме напоминает компрессионную кривую. Осадки по мере увеличения нагрузок угасают или прекращаются. Такой график может быть получен в двух случаях.

График I: а) испытывается двухслойное основание, в котором верхний слой характеризуется большей сжимаемостью (пластичный суглинок, подстилаемый твердым; крупный валун скальной породы, залегающий в песке или связном грунте на незначительной глубине под штампом и т. д.); б) испытываются водонасыщенные пески, дающие пробку. Мероприятия по созданию противодавлений были неэффективны, и песчаная пробка заклинила рабочую трубу в обсадной колонне. Опыт должен быть переделан. Для проверки правильности предположения о причинах основание должно быть вскрыто.

График II. Осадки прекратились и не нарастают с увеличением нагрузок. Может иметь место при испытаниях с использованием гидравлического домкрата, установленного методом упора в стенки. Характерен для случая, когда в стенках залегает грунт более слабый, чем в основании штампа. Упорные щи-

ты вдавились в стенки шурфа и дали возможность штоку домкрата выдвинуться на всю длину до упора. В этом случае манометры указывали величину давления, которое развилось внутри гидравлической системы, но не передавалось на штамп. Опыт должен быть переделан, начиная с того давления, после которого вышел шток домкрата.

График рис. 29, *д* отражает незакономерные колебания осадок. Основной причиной является неисправность в измерительных приборах, иногда — плохо установленное реперное устройство, при замачивании — неравномерное (с перерывами) поступление воды. Опыт должен быть переделан полностью.

На графике рис. 29, *е* отображен особый случай испытаний, когда опыт был проведен с перерывом. Как уже указывалось, на ступени, предшествовавшей нагрузке, при которой произошел перерыв, мы получим две точки, соответствующие стабилизированной осадке (a и a'). Руководствуясь известными представлениями о петлях гистерезиса, можно с определенной степенью погрешности уменьшить все величины осадок при последующих ступенях нагрузки на величину, равную отрезку $a-a'$. В случае, если до перерыва в опыте было три и более точек графика, откорректированное положение последующих точек может быть проконтролировано продлением осредняющей прямой $O-a$ до точки пересечения ее с ординатой нагрузки, соответствующей на нашем графике точке b . Откорректированные точки должны лечь на эту прямую. Основанием для такой интерпретации графика должна служить соответствующая запись в журнале наблюдений. Следует помнить, что причиной ступенчатости графика может послужить и замачивание грунта, график опыта с замачиванием при достижении определенной ступени нагрузки (по методу одной кривой) приведен на рисунке 29, *ж*. Модуль деформации здесь должен быть рассчитан отдельно для условий естественной влажности и искусственного замачивания. В первом случае величина модуля деформации определяется для интервала нагрузок между бытовым и тем удельным давлением, при котором произошло замачивание, во втором случае — между последним и давлением на пределе пропорциональности. Распространять полученные значения модуля общей деформации замоченных грунтов на интервал между бытовым давлением и давлением, при котором произведено замачивание, не рекомендуется.

На графике рис. 29, *з* изображены результаты опыта с параллельным замачиванием (по методу двух кривых). Кривая, описывающая результаты испытаний при естественной влажности, обычно может быть приведена к одному из трех типов графиков, показанных на рисунке 29, *а*. График осадки штампа на искусственно замачиваемых грунтах также может быть приведен к этим трем типам, однако здесь на тип графика влияет не столько качество подготовки основания, хотя этот фактор не

теряет своей значимости, сколько способность грунта реагировать на замачивание набуханием или просадкой.

Нами рассмотрены типичные графики для наиболее часто встречающихся условий опыта. На практике могут встречаться случаи «наложения» условий. Такие графики будут иметь более сложный характер и расшифровывать их можно только с учетом всех данных. Поэтому анализ результатов должен проводиться непрерывно в ходе испытаний, когда все этапы их свежи в памяти, а некоторые могут быть проконтролированы непосредственно в натуре.

Окончательная камеральная обработка материалов

Для окончательной камеральной обработки может быть принят опыт, при проведении которого выполнены следующие условия:

График *осадка — нагрузка* достоверен и не имеет технологических дефектов; по нему можно установить участок линейной зависимости между осадкой и нагрузкой (все подсчеты средних осадок и правильность составления графика $S=f(P)$ проверяются «во вторую руку»). При этом необходимо иметь развернутую характеристику физико-механических свойств испытанного грунта; геологическую привязку испытанного слоя (визуальное описание, генезис и возраст); топографическую привязку (координаты и абсолютная отметка места установки штампа); описание и характеристику комплекта приборов и оборудования, использованного в опыте.

Основной задачей окончательной камеральной обработки является установление количественных характеристик сжимаемости грунтов. ГОСТ 12374—66 рекомендует использовать для расчетов формулу:

$$E = (1 - \mu^2) \omega d \frac{\Delta P}{\Delta S},$$

- где E — модуль общей деформации грунтов, $кг/см^2$;
 ω — безразмерный коэффициент, зависящий от формы и размеров штампа и принимаемый равным 0,8;
 μ — коэффициент Пуассона, принимаемый равным для крупнообломочных грунтов — 0,27; песков и супесей — 0,30; суглинков — 0,35; глин — 0,42;
 d — диаметр штампа, $см$;
 ΔP — приращение удельной нагрузки на штамп в интервале между бытовым давлением и нагрузкой на пределе пропорциональности, $кг/см^2$;
 ΔS — приращение осадки, соответствующее ΔP , $см$.

Эта формула предполагает определение величины модуля общей деформации для прямолинейного участка графика $S=f(P)$ на отрезке между бытовым давлением и какой-то величиной P_i ,

соответствующей пределу пропорциональности. Причем считается, что модуль общей деформации является величиной постоянной. Это очень важное положение не всегда осознается исполнителями, которые в силу традиций, сложившихся под влиянием устаревшей инструкции И-182—53 Министерства строительства СССР, стараются откорректировать графики, выводя их из начала координат. Подобная операция, вполне оправданная при обработке опытных данных по упомянутой инструкции, совершенно излишняя по ГОСТ. Действительно, инструкция исходила из предположения, что модуль деформации является функцией нагрузки, и расчет его проводился для интервалов от 0 до каждого из имеющихся удельных давлений. В этом случае, конечно, важно было получить график из начала координат.

При обработке опытных данных по ГОСТ важен только угол наклона прямолинейного участка графика *осадка—нагрузка* к оси абсцисс. Котангенсом этого угла и определяется величина модуля общей деформации.

Результаты опыта изображаются в виде графиков, таблиц и колонок, скомпонованных на одном листе (приложение II).

Составные части листа. График зависимости осадки во времени при различных степенях нагрузки. Одна из форм изображения зависимости приведена на рис. 3, б. Эта форма позволяет компактно разместить график, облегчает визуальный контроль за соблюдением правила о продолжительности ступеней нагрузки, наглядно иллюстрирует характер изменения осадки при различных нагрузках. Однако при проведении опытов с замачиванием, когда возникает необходимость в совмещении этого графика с графиком расхода воды во времени, он становится неудобным. В приложении II приведена иная форма. Она требует больше места, но дает возможность производить любые необходимые совмещения. Строится график в следующих масштабах: горизонтальный 1 ч — 0,4 см, вертикальный 1 мм осадки — 1,0 см (при построении графика расхода воды 100 л/ч = 1,0 см). Данные графика являются промежуточными и используются для составления графика зависимости *осадка—нагрузка*. Для этого конечные точки стабилизированных осадок на каждой ступени нагрузки переносят на соответствующие им ординаты графика $S=f(P)$.

В случае, если опыт проводился с параллельным замачиванием, на каждом листе изображаются результаты испытаний грунта естественной влажности (сплошная линия) и искусственно замоченного (штриховая линия).

График зависимости *осадка—нагрузка* является единственным документом, на основании которого могут быть рассчитаны значения модуля общей деформации и получены величины удельного давления на пределе пропорциональности, т. е. величины, которые и являются целью опытных работ. После нанесения точек стабилизированных осадок необходимо нанести ос-

редняющую прямую. Проводится она по методу наименьших квадратов или наносится графически с таким расчетом, чтобы имеющиеся точки располагались симметрично относительно нее. Точки, на которых условная стабилизация не достигнута, при осреднении не учитываются.

Если стабилизация осадок не достигнута, на график наносится точка, соответствующая осадке штампа после 24 ч осадки с момента начала данной ступени нагрузки.

На следующем этапе определяем предел пропорциональности и уточняем величину бытового давления по формуле

$$P_6 = \Sigma \gamma_{обл} m_i,$$

где $\gamma_{обл}$ — объемный вес грунта элементарного слоя, залегающего выше места установки штампа, $кг/см^2$;

m_i — мощность элементарного слоя, $см$.

Величина осадки, соответствующая P_6 , определяется по графику $S=f(P)$ и заносится вместе с P_6 в таблицу физико-механических свойств.

Величина предела пропорциональности определяется по точке резкого перелома графика *осадка—нагрузка*. Это такое давление, увеличение которого на одну ступень вызывает двойное увеличение осадки. При исследованиях штампами встречаются опыты, при которых резкий перелом графика не получен, так как осадки нарастают постепенно и нигде не превышают предыдущие вдвое. В этом случае за предел пропорциональности должна быть принята нагрузка, предшествовавшая ступени, на которой не достигнута стабилизация осадки, а осредняющую прямую заменяет линия, соединяющая точки осадки при бытовом давлении и пределе пропорциональности.

Установленное значение предела пропорциональности и соответствующей ему осадки вносится в таблицу физико-механических свойств. Далее составляем таблицу результатов наблюдений и заполняем ее лабораторную часть (приложение I).

Пример. Круглый штамп площадью 5000 см^2 ($d=79,8 \text{ см}$) установлен на глубине $4,0 \text{ м}$ на слой песков. Бытовое давление — $0,75 \text{ кг/см}^2$. Предел пропорциональности достигнут при $3,25 \text{ кг/см}^2$ (табл. Г).

Пользуясь формулой ГОСТ 12374—66, получим:

$$E = (1 - 0,30^3) \cdot 0,80 \cdot 79,8 \cdot \frac{2,50}{0,28} = 58,09 \cdot \frac{2,50}{0,28} = 519,9 \text{ кг/см}^2.$$

Учитывая, что величины модуля общей деформации округляются* до целых десятков, искомый модуль принимается равным 520 кг/см^2 .

Результат и величину предела пропорциональности записываем в таблицу физико-механических свойств (приложение II).

* При испытаниях слабых грунтов (модуль деформации менее 50 кг/см^2) округление не допускается.

Оформление записей отсчетов

Удельное давление, кг/см ²	Время опыта, ч		Стабилизированная осадка, см	Продолжительность опыта, ч
	начало	окончание		
0,75	$\frac{10/X}{14-00}$	$\frac{10/X}{22-00}$	0,06	8,00
1,25	$\frac{10/X}{22-00}$	$\frac{11/X}{6-00}$	0,12	8,00
1,75	$\frac{11/X}{6-00}$	$\frac{11/X}{15-00}$	0,17	9,00
2,25	$\frac{11/X}{15-00}$	$\frac{12/X}{1-00}$	0,23	10,00
2,75	$\frac{12/X}{1-00}$	$\frac{12/X}{11-00}$	0,28	10,00
3,25	$\frac{12/X}{11-00}$	$\frac{12/X}{21-00}$	0,34	10,00

Таблица 6

Номенклатура грунта	Значения $(1-\mu^2)\omega d$ при площади штампа в см ²			
	600	2500	5000	10000
Песок, супесь	20,16	40,91	58,09	81,97
Суглинок	19,44	39,45	51,01	79,04
Глина	18,25	37,02	52,57	74,19

Отметим, что выражение $(1-\mu^2)\omega d$ зависит только от номенклатуры грунта, размеров и формы штампа. Поэтому оно может быть вычислено заранее. Это позволяет значительно сократить время на обработку материалов опытных работ. В табл. 6 значения $(1-\mu^2)\omega d$ вычислены для наиболее часто встречающихся грунтов и размеров круглых штампов.

Для наиболее широко используемых в практике полевых исследований штампов площадью 5000 см² в главе III приведены таблицы готовых решений [№ 26—33], которые позволяют получить значения модуля общей деформации по приращению нагрузок и соответствующих им осадок.

Материалы полевых исследований грунтов штампами, включая разведочные и лабораторные работы, должны быть сведены в отдельную книгу отчета или специальную главу. Отметим, что основной особенностью отчетных материалов является их неразрывная связь со всем комплексом инженерно-геологических исследований. Штампо-опыты позволяют более точно определить деформативные свойства грунтов, но без увязки этих

свойств с другими характеристиками грунтов — с генезисом, физическим состоянием и номенклатурой — невозможно дать обоснованный прогноз работы проектируемого сооружения.

Количество опытов обычно строго ограничено. В связи с этим особенно важно увязать данные лабораторных исследований с результатами штампо-опытов. Наиболее популярным способом в настоящее время является корреляция величин модуля общей деформации, полученных в полевых и лабораторных условиях.

Известны попытки разработать эмпирические поправочные коэффициенты типа m к значениям компрессионных модулей. Но этот путь не всегда оправдан, а сами коэффициенты завышены. Очевидно более рационально искать одиночные или множественные корреляционные связи между величинами модулей общей деформации, полученными при помощи штампов, и характеристиками физических свойств грунтов, а также условиями их залегания и структурными особенностями. Широкое внедрение ЭВМ в изыскания может серьезно облегчить эту задачу.

Во всех случаях следует помнить, что найденные зависимости нельзя механически переносить на грунты иного генезиса или развитые в районах с иными естественно-историческими условиями. Найденные парные или множественные связи должны тщательно проверяться и уточняться. Модуль общей деформации грунтов является очень изменчивой величиной. Статистическая обработка показывает, что даже на однородных грунтах коэффициент изменчивости колеблется в пределах 30—100%.

Не менее важно помнить, что величины модуля общей деформации, полученные при помощи штампов в скважинах и шурфах, не идентичны, так же как последние не идентичны компрессионным модулям. В какой-то мере эти отличия могут быть объяснены следующим: при испытаниях в скважинах труднее качественно подготовить основание; размеры штампов невелики; при компрессионных испытаниях структура образца многократно нарушалась, и объем его явно недостаточен для того, чтобы претендовать на представительность, но основная причина неидентичности данных заключается в том, что модули деформации определяются при различных условиях работы оснований: в компрессионных приборах — без возможности бокового расширения; в скважинах — с ограниченной возможностью; в шурфах — в условиях неограниченных возможностей бокового расширения.

§ 5. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА БЕЗОПАСНОГО ВЕДЕНИЯ РАБОТ

При производстве штампо-опытов сохраняют свою силу все положения нормативных документов, как-то: «Правила безопасности при геологоразведочных работах» (М., «Недра»,

1972); СНиП III-A. 11—70 «Техника безопасности в строительстве» и «Руководство по технике безопасности на инженерно-исследовательских работах для строительства» (М., Стройиздат, 1971).

Горные выработки, в которых устанавливаются штампы, должны иметь надежные ограждения и удобные подходы. В ночное время выработки должны иметь постоянное освещение. Для безопасного ведения работ необходимо также соблюдать правила, учитывающие специфику штампо-опытов.

При работе с гидравлическими домкратами к работе могут быть допущены только те лица, которые прошли соответствующий инструктаж по технике безопасности и ознакомлены с инструкциями по эксплуатации оборудования. При этом знание устройства и принципов действия приборов обязательно.

Категорически запрещается использовать для производства опытов неисправное или некомплектное оборудование.

Особое внимание должно быть уделено контролю исправности манометров, которые должны проверяться перед каждым опытом при помощи образцовых манометров и не реже одного раза в месяц — в «Палате мер и весов».

Запрещается использовать шланги высокого давления с трещинами, надрывами и неисправными штуцерами. Максимальное давление при опыте не должно превышать давление, допускаемое для данной системы. Если гидравлическая система находится под давлением, категорически запрещается: находиться или спускаться в шурфы, в которых установлено оборудование; производить демонтаж и ремонт опытного оборудования; ликвидировать неисправности или заменять элементы гидравлической системы (домкрат, насосная станция, шланги, гидростабиллизатор).

Запрещается спускаться в шурфы, если на поверхности не остается хотя бы один член бригады. При спуске работающего в шурф оттягивающие гири прогибомеров должны быть сняты со струн.

Не реже одного раза в месяц вся соединительная арматура должна быть испытана на протяжении 1 ч под давлением, превышающим номинальное на 12,5%. Необходимо строго соблюдать инструкцию по эксплуатации, уходу и хранению механизмов и аппаратуры. Запрещается спускаться в шурфы или находиться в них, если над ними установлены грузовые платформы. Загружаемая платформа должна надежно опираться на подпорки. При загрузке платформы вручную вес груза не должен превышать 25 кг, а при загрузке с помощью подъемных механизмов крупногабаритными грузами центр тяжести их должен совпадать с осью стойки платформы. Платформу необходимо загружать симметрично относительно оси стойки.

Тали подъемных механизмов должны иметь двойной запас прочности.

ДИНАМИЧЕСКОЕ И СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГРУНТОВ

§ 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

В основу метода зондирования положен пенетрометрический способ оценки состояния и свойств среды по величине сопротивления ее погружению наконечника определенного профиля. Этот способ применяется при испытании различных материалов: от керамики и металла до свежеприготовленного бетона, смазок и других пластично-вязких веществ. Полевые испытания могут выполняться как на поверхности грунта, так и в его толще путем погружения наконечника в нижележащие слои с помощью штанги.

Процесс деформирования среды при внедрении наконечника в пределах его высоты отличен от процесса, вызываемого погружением того же наконечника на большую глубину, что существенно сказывается на результатах опыта. Поэтому необходимо четко разграничить эти виды испытаний, внося различие в терминологию и обозначения.

Случай, когда глубина погружения наконечника H не превышает его высоту h_n ($H \leq h_n$), относится к собственно пенетрации, а испытания, при которых $H > h_n$ — к зондированию (фр. Sonde — щуп для глубинных исследований). Отметим, что в отечественной и зарубежной литературе в описании одних и тех же процессов термин «зондирование» нередко употребляется наряду с термином «пенетрация», что приводит к значительным затруднениям и разночтению.

Пенетрация используется для определения ряда характеристик механических и физических свойств грунтов, оценки проходимости транспорта, тяговых сопротивлений машин, усилий резания и трудности разработки пород. Зондирование широко применяется при инженерно-геологических исследованиях. Метод отличается простотой, дешевизной и позволяет с доверительной степенью точности производить качественную относительную оценку состояния исследуемых грунтов. В зависимости от способа приложения нагрузки различают две модификации метода — динамическое и статическое зондирование.

Теоретическому и экспериментальному изучению процесса зондирования посвящены работы ряда советских и зарубежных исследователей. Основным и неотъемлемым элементом зондировочных испытаний является зонд, состоящий из зондировочного наконечника и штанг. В современной практике применяются

различные формы наконечников: сферические, конические и плоские штампы, спиральные и пирамидальные жезлы, цилиндрические грунтоносы. Однако накопленный опыт свидетельствует о преимущественном распространении конических наконечников, так как конус является наиболее удачной формой осесимметричного режущего профиля, при введении которого в среде не возникают осложняющие явления (краевые напряжения, местные уплотнения и др.).

При погружении зонда приходится преодолевать сопротивление грунта прониканию наконечника и силы трения, возникающие между грунтом и боковой поверхностью зонда. Для правильной интерпретации результатов необходимо исключить влияние трения по боковой поверхности или измерить его величину. С этой целью применяются различные методики испытаний и конструкции зондов. Наиболее широко распространены зонд с уширенным наконечником, у которого диаметр наконечника (d_n) превышает диаметр штанги (d_w), и стержневой зонд с защитными или мерными трубами при $d_n = d_w$.

Сопротивление грунта введению зонда называется общим сопротивлением зондированию и складывается из сопротивления прониканию наконечника и трения грунта о боковую поверхность штанг. При интерпретации результатов испытаний пользуются прямыми и производными показателями зондирования.

Зондирование является полевым методом непрерывного по глубине исследования грунтов. При правильной постановке опыта с помощью зондирования можно решить следующие задачи:

- установить характер напластований грунтов по глубине и простиранию; выявить слабые прослои, линзы, карсты;

- обоснованно наметить места геологических выработок, сократить их число;

- уточнить геологический разрез и распространить данные бурения на исследуемый массив;

- установить границы насыпных слоев, границы промерзания, зеркала скольжения оползней;

- оценить степень и характер однородности пород по свойствам;

- определить несущую способность свай и рациональную глубину их забивки;

- осуществлять контроль за производством земляных работ;

- исследовать состояние существующих сооружений;

- приблизительно оценить некоторые физико-механические свойства грунтов.

В процессе зондирования взаимодействуют деформации сдвига и уплотнения, которые в свою очередь тесно связаны с комплексом физических, минералогических и структурно-текстурных характеристик. Поэтому определяемые величины сопротивлений зондированию являются интегральными показателями состава и состояния грунта.

Попытки установления функциональных взаимосвязей между показателем зондирования и одной из характеристик грунта могут принести успех лишь при наложении определенных условий на все остальные, что весьма затруднительно. Эмпирические зависимости достаточно четко проявляются и оказываются полезными при приближенной оценке некоторых инженерно-геологических свойств грунтов.

Зондирование применяется при исследовании естественных и искусственно образованных нескальных грунтов на глубину до 15—20 м.

Применение метода регламентируется видами и состоянием испытываемых грунтов (приложение X).

§ 2. СХЕМА И ОБЪЕМ ЗОНДИРОВОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Согласно СНиП II-A. 13—69 зондирование входит в состав инженерно-геологической съемки и инженерно-геологической разведки. Объемы работ устанавливаются общей программой изысканий с учетом требований действующих нормативных документов, например СНиП II-A. 13—69; II-B. 1—62; II-B. 5—67*.

Схема испытаний определяется типом объекта, сложностью и степенью изученности геологических условий участка и конечной целью исследований. Изучение больших площадей с монотонным характером рельефа (крупные промышленные площадки, аэродромы, ирригуемые территории, чаши водохранилищ и т. п.) обычно выполняются по сетке квадратов или прямоугольников. Изыскания на трассах дорог и каналов, в речных долинах и оврагах, на пересеченной местности, при исследовании очаговых участков (оползневые массивы, зоны переработки берегов и т. п.) ведутся по системе створов и поперечников.

Скважины размещают так, чтобы обеспечить построение достоверного профиля в изолиниях равных сопротивлений. Исследование обычно начинают с зондирования по редкой сети с последующим ее сгущением по мере необходимости. Первоначально расстояние между точками зондирования назначается от 15—20 до 50—100 м и более. Дальнейший ход работ зависит от геологических особенностей площадки. Сгущение сети скважин ведется до установления общих закономерностей изменения показателей зондирования в пределах изучаемой территории. С этой целью в состав первичной полевой обработки вводится анализ графиков (эпюр) зондирования, что дает возможность в ходе испытаний получить сведения о характере изменчивости пород и некоторые статистики, необходимые для установления системы размещения выработок.

Задачей инженерно-геологической съемки является комплексное изучение природных условий района. С помощью зондирования на этой стадии решается вопрос расчленения исследуемого массива на инженерно-геологические элементы в первом

приближении и установлении числа и мест проходки разведочных выработок, например, скважин, шурфов.

Линии сетей и створов являются следами плоскостей, в которых расположены зондировочные скважины, и по ним могут быть выделены двух- и трехмерные поля с относительно одинаковым сопротивлением зондированию. Так как сопротивление зондированию является обобщенным показателем состава и состояния грунта, понятие *поле равных сопротивлений* не может в полной мере отождествляться с понятием инженерно-геологического элемента (по Н. В. Коломенскому) как качественно однородного тела. Очень часто выделенный геолого-петрографическим методом (по визуальным признакам) литологический слой оказывается неоднородным по механическим свойствам и объединяет несколько полей равных сопротивлений. Обычно границы литологических разновидностей и полей равных сопротивлений совпадают, однако их расхождение теоретически не исключено. Поэтому полученная система полей обретает конкретную инженерно-геологическую основу только во взаимоувязке с данными опорного бурения, задачей которого является определение классификационных показателей. В районах с неблагоприятными физико-геологическими процессами (просадки, многолетняя мерзлота, карсты, оползни, сели и т. п.) одновременно устанавливаются некоторые специфические характеристики, указанные в СНиП II-A. 13—69.

Выделение полей равных сопротивлений (далее: *слои*), производится путем визуального анализа графиков зондирования, дополняемого при отсутствии четких границ, элементами математической обработки.

Размещение горных выработок обуславливается особенностями залегания пород и степенью их однородности. Обычно в пределах участка прослеживаются слои равных сопротивлений, выдержанные по простиранию, между которыми могут встречаться отдельные линзы. Выработки располагаются с таким расчетом, чтобы они вскрывали все характерные слои и отдельные линзы, которые по своим размерам и расположению могут оказать влияние на устойчивость и несущую способность основания.

При изысканиях для массового строительства и сооружений III и IV классов можно ограничиться тройной повторностью обследования каждого основного слоя. В случаях инженерно-геологических исследований для уникальных сооружений и объектов I и II классов схема и количество выработок устанавливаются на основе визуально-математического анализа результатов рекогносцировочных работ [7, 10]. Необходимые для этого данные вычисляют по результатам зондировочных испытаний.

Целью инженерно-геологической разведки является получение инженерно-геологических характеристик грунтов в границах влияния проектируемого сооружения.

На этом этапе работ данные зондирования дают возможность

окончательно установить границы ранее выделенных инженерно-геологических элементов; определить приближенные значения нормативных характеристик грунтов как в отдельных точках разреза, так и для элемента в целом; оценить степень однородности и выдержанности пород по сопротивлению зондированию или другим связанным с ним показателям; выбрать эталонные площадки, типичные для исследуемой территории (ключевые участки); распространить на исследуемую территорию результаты испытаний, выполненных на эталонных площадках; определить сопротивление грунта под острием и по боковой поверхности свай и их несущую способность:

Выбору схемы полевых испытаний предшествуют изучение и анализ материалов предыдущих изысканий.

Если изыскания велись с помощью зондирования, то можно рекомендовать такую последовательность операций:

вычисление средних значений показателей зондирования для каждого выделенного слоя; оценка существенности расхождения выборочных средних, полученных по разным скважинам и предположительно относящихся к одному слою; составление обобщенного графика (эпюры) зондирования по средним величинам показателей в пределах изучаемой территории; выбор эталонных площадок, т. е. участков, на которых графики зондирования оказались наиболее близкими к эпюре средних величин; проведение на эталонных площадках детальных исследований физико-механических свойств грунтов различными методами, в том числе и зондированием.

При высокой степени однородности и выдержанности пород показатели физико-механических свойств, определенные на эталонных площадках, могут рассматриваться как средние значения для выделенного слоя. Анализируя результаты зондирования на массиве и эталонных площадках, оценивают уровень надежности расчленения слоев по данным зондирования и определяют коэффициент изменчивости показателей. По этим характеристикам при выбранной точности определяют необходимое количество зондировочных испытаний и устанавливают число дополнительных скважин.

Если предшествующие исследования выполнялись иными методами, то задача зондирования обычно сводится к сгущению сетей геологических выработок, детализации разреза и установлению средних показателей зондирования и их полей. В этом случае эталонные площадки выбираются в типичных по инженерно-геологическим признакам точках участках. На каждой площадке закладывают не менее 4—5 зондировочных скважин, которые размещаются в непосредственной близости от горных выработок или мест полевых исследований. Максимально допустимое удаление скважин от этих точек — 5 м.

Сопоставляя графики зондирования и колонки буровых скважин, выбирают показатели зондирования для каждого литоло-

гического элемента. Рассматривая эти значения как вариационный ряд случайных величин, их подвергают обработке методами математической статистики с целью установления разрешающей способности зондирования, уровня надежности выделения слоев и доверительных интервалов показателей зондирования для каждого слоя, на основании которых производится расчленение разреза.

Приближенная оценка инженерно-геологических свойств грунтов со степенью достоверности, достаточной для сооружений II и III классов, может производиться на основе осредненных значений показателей зондирования. В остальных случаях следует установить корреляционные зависимости между показателями зондирования и инженерно-геологических свойств. Для этого необходимо иметь не менее трех отличных друг от друга значений показателей в границах каждого выделенного элемента. Последнее достигается путем проведения испытаний на нескольких (обычно трех) опытных площадках, которые назначают в местах с различным сопротивлением зондированию, обычно отвечающим среднему и крайним значениям доверительного интервала для данного слоя.

При изысканиях под отдельные здания и сооружения зондирование обычно выполняется «конвертом» — по углам и в центре площадки. В особых случаях допускается выносить зондировочные точки за пределы контура, но не далее 5 м от границ. Чтобы исключить возможность получения случайных результатов, под каждый подобный объект следует закладывать не менее трех испытаний. Исключение составляют промежуточные опоры линий электропередачи, опоры малых мостовых переходов и другие «точечные», а также неотчетливые сооружения.

Статическое зондирование входит в комплекс изысканий для рабочего проектирования свайных фундаментов. С помощью зондирования определяют оптимальные глубины забивки свай, их несущую способность, степень плотности, консистенцию и коэффициент однородности грунтов исследуемой площадки. Зондирование обычно ведут по сетке квадратов или прямоугольников из расчета одно испытание на 100 м² застраиваемой площади (но не менее трех), увеличивая это количество вдвое для площадок с неоднородными грунтовыми условиями. Сопутствующие геологические выработки — скважины или шурфы с отбором монолитов — назначаются в соответствии с приведенными выше рекомендациями.

§ 3. ДИНАМИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Динамическое зондирование (ДЗ) выполняется путем ручной или механической забивки в грунт стержня (зонда), снабженного соответствующим наконечником. Забивка осуществляется стандартными ударами свободно падающего молота. В зависи-

мости от вида наконечника различают два способа динамического зондирования: динамическое зондирование пробоотборником (ДЗП) и динамическое зондирование конусом (ДЗК).

Преимуществами динамического зондирования является значительная величина силового воздействия, простота оборудования и производства работ, отсутствие анкерных устройств для восприятия реактивных сил.

Динамическое зондирование позволяет исследовать грунты с высокими сопротивлениями прониканию конуса, а также производить специальные испытания (например, на площадках со слабым поверхностным слоем и т. п.). В процессе испытаний фиксируют величину осадки зонда от определенного числа ударов (залога) s или числа ударов молота, необходимых для погружения зонда на определенную глубину $N, П$.

Динамическое зондирование пробоотборником

С целью получения сопоставимых результатов и распространения выявляемых зависимостей между показателями зондирования и некоторыми физико-механическими характеристиками грунтов в практике применяется следующее стандартное оборудование для динамического зондирования пробоотборником (ДЗП): забивной разъемный грунтонос диаметром 51/35 мм, длиной 800 мм и весом 6,6 кг (рис. 30); зондировочные штанги диаметром 42 мм, длиной 1,0—1,5 м; молот весом 63,5 кг, свободно падающий с высоты 75 см.

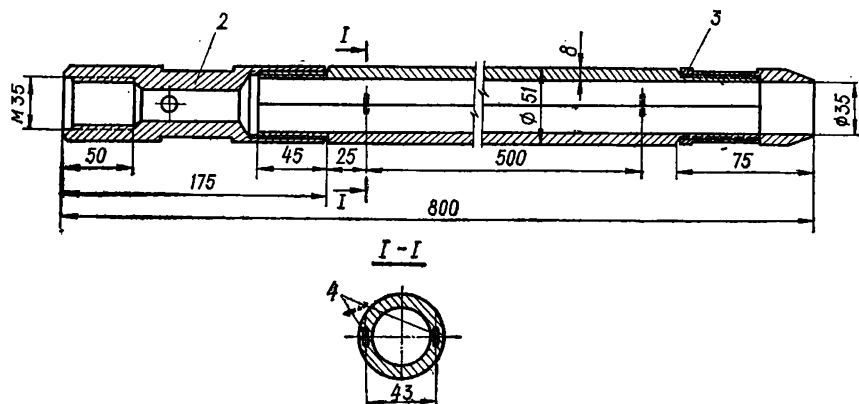


Рис. 30. Пробоотборник для испытаний грунтов ДЗП:
1 — разъемный стакан; 2 — переходник; 3 — башмак; 4 — штифт.

В качестве механизма может быть использован любой буровой станок, обеспечивающий равномерный режим работы молот-

та с частотой 6—8 уд/мин и проходку скважин диаметром не менее 127 мм.

Испытания выполняются в следующей последовательности:

буровая скважина не добуривается до заданной отметки на 15 см, чтобы исключить влияние структурных нарушений на результаты опыта. Забой зачищается буровой ложкой. В процессе бурения особое внимание уделяют соблюдению вертикальности скважины;

грунтонос с колонной штанг соответствующей длины устанавливается на забой. Верхний конец штанг должен возвышаться над устьем скважины на 65—75 см;

на мачту навешивается молот с направляющей и механизмом сбрасывания и соединяется с верхним концом колонны;

к укрепленному на штанге индексу подводится начало отсчета специальной мерной рейки или сама штанга размечается мелом на четыре отрезка снизу вверх — один 15 см и три по 10 см;

на первые 15 см грунтонос забивается легкими ударами, счет которым не ведется*. Последующие 30 см проходят под действием стандартных ударов с подсчетом количества их на каждые 10 см погружения (П, уд/дм);

результаты зондирования заносят в специальный журнал (приложение III);

молот с направляющей снимается с мачты, и грунтонос поднимается на поверхность;

скважина бурится до следующего горизонта испытаний;

из грунтоноса извлекают образец породы, а сам грунтонос чистят и подготавливают к следующему опыту. Зондирование, как правило, выполняется в отдельных характерных точках по глубине.

ДЗП позволяет получать величину общего динамического сопротивления и образцы пород, в которых оно зафиксировано. Метод испытаний, связанный с периодической сменой оборудования и способа проходки, приводит к значительному увеличению трудоемкости и продолжительности опыта. Поэтому применяется ДЗП весьма ограниченно. Динамическое зондирование пробоотборником позволяет опробовать все виды грунтов с общим динамическим сопротивлением от 1 до 25 уд/дм за исключением пород, содержащих более 25% крупных включений, и водонасыщенных песков, образующих пробки в обсадных трубах.

Динамическое зондирование конусом

Динамическое зондирование конусом (ДЗК) является результатом дальнейшего развития ДЗП, вызванного необходимостью измерять сопротивление грунта непрерывно по глубине.

* При испытании плотных песков счет ударам ведут по всей глубине зондирования.

В отечественной практике инженерно-геологических исследований применяется следующее стандартное оборудование: конический наконечник диаметром 74 мм с углом раскрытия 60° (инвентарный или съемный) (рис. 31); зондировочные штанги диаметром 42 мм с ниппельным соединением; ударный молот весом 60 кг; устройство для подъема и сбрасывания молота с высоты 80 см.

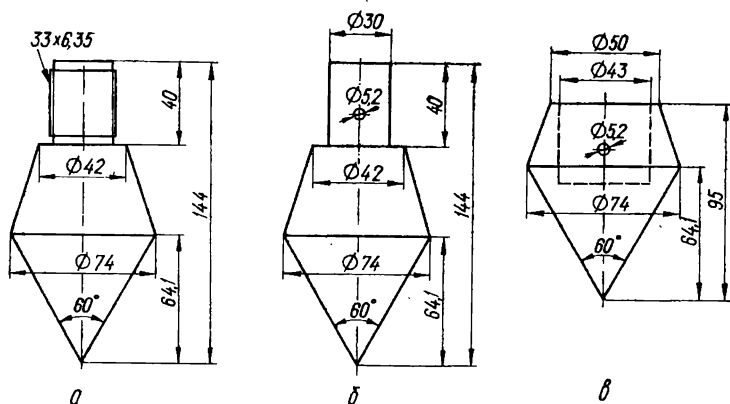


Рис. 31. Наконечники для испытаний грунтов ДЗК:
а — инвентарный; б, в — съемные.

При некоторых видах испытаний допускается переход на легкое или тяжелое оборудование (табл. 7). Тип оборудования естественно сказывается на характере работы грунта и должен быть учтен при интерпретации результатов. Поэтому отметка в журнале о типе оборудования является обязательной. Вводятся соответствующие индексы и в обозначение параметров зондирования: $N^{ст}$, N^T , $N^л$ — сопротивление зондированию в случае применения соответственно стандартного, тяжелого и легкого оборудования.

ДЗК осуществляется зондировочными (пенетрационными) установками типа УБП-15 (м), а также различными буровыми станками, снабженными специальными приставками. Работы ведутся в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемой установки. Общие положения методики ДЗК сводятся к следующему:

установка приводится в рабочее положение; на первую штангу надеваются наконечник и оголовок;

в зависимости от способа фиксирования результатов штанга размечается мелом на отрезки по 5—10 см или к ней крепится стрелка-индекс;

штанга устанавливается в намеченной точке опыта и на нее опускается зондировочный молот с направляющей и механизмом сбрасывания;

на глубину 50—70 см зонд забивается легкими ударами при высоте подъема молота не более 40 см.

В грунтах твердой консистенции и обогащенных твердыми включениями рекомендуется предварительно отрывать приямок глубиной 0,5 м. Далее зондирование ведется стандартными ударами с регистрацией их числа на 10 см погружения или величины осадки зонда от залога s , см. Запись ведется в полевом журнале (приложение IV).

Особое внимание уделяется вертикальности забивки. Мачта станка устанавливается строго по отвесу. В процессе работ постоянно следят за ходом зонда и по возможности корректируют его (особенно первую штангу). Перед наращиванием следующей штанги зонд проворачивают в скважине несколько раз. Если зонд не проворачивается, испытание начинают заново.

По окончании опыта зонд извлекают с помощью фарштуля или элеватора.

В грунтах, не способных держать стенки буровых скважин (сухие песчаные, слабые глинистые), целесообразно применять съемный наконечник, который крепится к штанге с помощью шплинта диаметром ≤ 5 мм. При подъеме шплинт срезается, наконечник остается в грунте, и извлечение зонда значительно облегчается.

Зондирование конусом позволяет получать динамические характеристики грунта непрерывно по разрезу. При этом отпадает необходимость в бурении скважин, в остановках и смене оборудования, что значительно сокращает продолжительность опыта. Однако метод может оказаться эффективным только в комплексе с опорными выработками или при достаточной геологической изученности участка.

Область применения ДЗК ограничивается составом и сопротивляемостью (плотностью) пород. Метод неприменим в крупнообломочных породах с максимальным размером фракций, превышающим пятую часть диаметра наконечника, в песчано-глинистых грунтах с содержанием твердых включений более 40%. Оптимальный диапазон сопротивляемости грунтов ($N^{ст}$ уд/дм) составляет 1—25 ударов на 10 см погружения. Испытания грунтов при $N^{ст} > 25$ уд/дм приводят к значительным затратам времени, быстрому износу оборудования и становятся практически не целесообразными. Случай $N^{ст} < 1$ уд/дм обычно

Таблица 7

$N^{ст}$, уд/дм	Применяемое оборудование		
	Вес молота, кг	Высота падения молота, см	Тип оборудования
< 1	30	40	Легкое
1—25	60	80	Стандартное
> 25	120	100	Тяжелое

свидетельствует о том, что нагрузка (стандартный удар) превышает некоторую величину, критическую для данного грунта, в результате чего приращение деформации от равных импульсов не остается постоянным. Как отмечалось выше, для расширения границ применимости метода допускается использование нестандартного оборудования (табл. 7). При этом размеры накопника и штанг сохраняются стандартными.

Способы регистрации результатов динамического зондирования

В мировой практике зондировочных испытаний используются различные приемы оценки динамического сопротивления грунта. Проводя аналогию в процессах погружения зонда и забивной сваи и стремясь получить сопоставимые данные для определения несущей способности свай, некоторые исследователи рекомендуют вычислять динамическое сопротивление, пользуясь зависимостями, выведенными для свай.

Данные института Фундаментпроект [14], а также работы других исследователей свидетельствуют о непригодности этого приема. Поэтому в СССР, и других странах результаты динамического зондирования оцениваются величиной условного измерителя — количеством ударов на каждые 10 см погружения конуса, реже — глубиной погружения конуса от каждых 10 ударов молота [1, 5, 14].

В ходе испытаний непосредственно фиксируется либо показатель динамического зондирования N уд/дм, либо величина осадки под воздействием определенного количества ударов s , см.

В первом случае, как отмечалось выше, штанга размечается мелом на отрезки в 10 см и ведется счет ударов, необходимых для погружения каждого отрезка. Возможная погрешность при этом составляет 0,5 ударов на каждый отсчет.

Во втором случае осадку измеряют от воздействия серии ударов (залога) по мерной рейке с точностью $\pm 0,5$ см. Количество ударов в залоге обычно равно пяти, но в зависимости от интенсивности проникания может изменяться от 1 до 20 ударов в связи с условиями соблюдения определенной осадки зонда от залога. Эта величина определяет минимальную толщину слоя, для которого может быть получен показатель ДЗ, точность выделения границ слоев разреза и поэтому не должна превышать 10 см.

Следует отметить, что в случае оценки результатов испытаний с помощью формул, вводимыми параметрами являются осадка зонда от залога, осадка от одного удара или число ударов на 1 дм погружения. Поэтому подобный прием регистрации результатов испытаний позволяет применить любой способ обработки.

Показатель динамического зондирования N связан с осадкой зонда от залога зависимостью

$$N = \frac{10n}{s}, \text{ уд/дм.} \quad (1)$$

где n — число ударов молота в залеге;
 s — погружение зонда от залега, см.

Погружение зонда от десяти ударов вычисляется по формуле:

$$S = \frac{10s}{n} \text{ см,} \quad (2)$$

откуда

$$N = \frac{100}{S} \text{ уд/дм.} \quad (3)$$

Оба приема используются в производственной практике, однако при этом не всегда учитывают, что точность определения показателей зависит от способа регистрации и свойств грунта. Эту зависимость легко показать, приняв в качестве граничных условий оптимальный диапазон сопротивляемости грунтов и указанную выше точность производства замеров.

Случай счета ударов на 10 см погружения зонда. Оптимальный диапазон показателя динамического зондирования составляет 1—25 уд/дм. Возможная абсолютная ошибка каждого измерения ΔN равна $\pm 0,5$ удара. Степень точности оценивается относительной ошибкой определения показателя ДЗ ($\delta_N = \frac{\Delta N}{N} \times 100$), которая при $N^{\text{ст}} = 25$ уд/дм равна $\pm 2\%$, а при $N^{\text{ст}} = 1$ уд/дм достигает $\pm 50\%$. В силу равновероятности абсолютных ошибок суммарная погрешность может оказаться равной 0, но возможность указанных относительных ошибок остается. График зависимости $\delta_N = f(N^{\text{ст}})$, построенный по данным табл. 8, изображен на рис. 32.

Т а б л и ц а 8

$N, \text{ уд/дм}$	1	2	5	10	15	20	25
$\frac{\Delta N}{N} \cdot 100\%$	50	25	10	5	3,3	2,5	2

График функции $\delta = f(N)$ представлен гиперболой вида $y = \frac{a}{x}$. Поэтому при $N \rightarrow 0$ относительная погрешность $\delta_N \rightarrow \infty$ и наоборот, если $N \rightarrow \infty$, то $\delta_N \rightarrow 0$.

Случай измерения осадки зонда от залега. Совершенно очевидно, что при точности измерения по рейке $\pm 0,5$ см и осадке $s = 10$ см относительная погрешность $\frac{\Delta s}{s} \cdot 100$ равна $\pm 5\%$, а при $s = 1$ см — $\pm 50\%$. Однако осадка зонда не является условным показателем зондирования, а связана с ним зависимостями (1) и (2).

При работах производственного характера относительная ошибка показателя динамического зондирования не должна превышать 10%. Тогда доверительный диапазон этого показателя (границы применимости способа регистрации) ограничивается величинами $N^{ст}$, соответствующими, с одной стороны, осадке $s=10$ см, а с другой — относительной погрешности $\frac{\Delta N}{N} \cdot 100 = 10\%$.

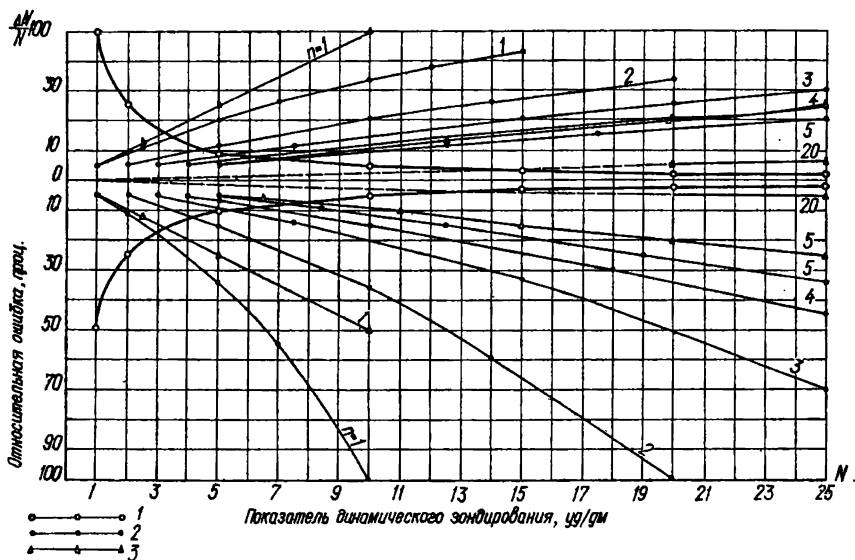


Рис. 32. Зависимость относительной погрешности измерения N от способа регистрации и плотности грунта:

1 — счет ударов на 10 см погружения; 2 — при расчете по формуле $N = \frac{10n}{s}$; 3 — то же по формуле $N = \frac{100}{s}$.

Пользуясь формулами (1) — (3), вычислим величины относительных погрешностей при различном количестве ударов молота в залоге в диапазоне сопротивляемости грунта от $N^{ст} = 1$ уд/дм до $N^{ст} = 25$ уд/дм. Графики зависимости $\frac{\Delta N}{N} \cdot 100 = f(N^{ст})$ приведены на рис. 32. С увеличением числа ударов n доверительный диапазон расширяется, одновременно смещаясь в сторону увеличения N . Например, при $n=1$ могут испытываться грунты с сопротивляемостью 1—2 удара на 1 дм погружения, а при $n=20$ — от 20 до 45 ударов на 1 дм (табл. 9).

Рассматривая совместно оба способа регистрации результатов ДЗ легко установить следующее.

Способ счета числа ударов на 10 см погружения обеспечивает необходимую точность определения показателя ДЗ (относи-

Формула зависимостей $N = f(s)$	Количество ударов в залоге n	Доверительный диапазон	
		N при $s = 10$ см	N при $\frac{\Delta N}{N} \cdot 100 = 10\%$
$N_{ст} = \frac{10n}{s}$	1	1	2
	2	2	4
	3	3	6
	4	4	8
	5	5	10
	20	20	45
$N_{ст} = \frac{100}{S}$	1	1	2
	5	5	10
	20	20	45

тельная погрешность 2—10%) при $N \geq 5$ уд/дм. С увеличением показателя ДЗ точность его определения возрастает.

Способ измерения осадок зонда от залога распространяется на весь интересующий интервал показателя ДЗ (1—25 уд/дм) и приводит к относительной погрешности не менее 5%. Точность определения параметра $N(s)$ возрастает с уменьшением показателя ДЗ. Однако каждому значению n отвечает свой, достаточно узкий доверительный диапазон показателя ДЗ, что делает сложным, а порой и невозможным применение способа. На основании изложенного можно рекомендовать следующее.

Считать более целесообразным для практического применения способ непосредственного счета числа ударов на 10 см погружения зонда.

При испытании грунтов с показателем динамического зондирования $N \geq 5$ уд/дм следует применять только способ счета числа ударов.

В случае $N_{ст} < 5$ уд/дм можно применять прием измерения осадок от залога. Количество ударов в залоге необходимо назначать и корректировать с учетом данных табл. 9 или графиков $\delta_N = f(N)$.

Целесообразно при значениях $N_{ст} < 5$ уд/дм изменять параметры установки (переходить на легкое оборудование), расширив таким образом границы применимости способа счета числа ударов.

§ 4. СТАТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Статическое зондирование (СЗ) осуществляется путем вдавливания в грунт специального зонда с помощью гидравлических винтовых или реечных домкратов.

Считают, что статическое зондирование, в силу непрерывности и плавности приложения нагрузки и течения деформаций, приносит более надежные результаты, лишённые влияния при-

входящих факторов (разрывы структур, тиксотропные изменения в грунтах и т. п.). Этот метод предпочтительнее при определении физико-механических показателей грунтов. Статическое зондирование является наиболее быстрым и достоверным способом определения несущей способности свай. Результаты зондирования не искажаются изменением веса и массы зонда с глубиной и трением грунта о штангу и не требуют введения поправочных коэффициентов.

К недостаткам статического зондирования следует отнести сложность оборудования и его обслуживания, необходимость в специальных устройствах для восприятия реактивного сопротивления грунта и в связи с этим некоторую ограниченность применимости метода.

Основные параметры установок и методика проведения статического зондирования

В целях получения сопоставимых данных при всех случаях испытаний на IV и V Международных конгрессах по механике грунтов и фундаментостроению (1957 и 1961 гг.) были приняты решения о необходимости стандартизации оборудования.

Основным рабочим органом при зондировании является зондировочный наконечник. В мировой практике зондирования предпочтение отдано коническим наконечникам с углом при вершине α от 30° до 90° . Под тупоугольными конусами образуется режущее грунт упругоуплотненное ядро, размеры которого зависят от свойств породы. В последнее десятилетие определились два основных направления в интерпретации результатов статического зондирования:

а) установление корреляционных взаимосвязей между сопротивлением зондированию и другими инженерно-геологическими показателями исследуемых грунтов;

б) допущение аналогии процессов зондирования и пенетрации и распространение на зондирование всех теоретических основ метода пенетрации. Этот подход является весьма перспективным и всесторонне проверяется на производстве.

В первом случае определяющим параметром является площадь наконечника, а угол при вершине не играет решающей роли.

Во втором случае сопротивление детерминируется высотой режущего профиля и образование упругоуплотненного ядра недопустимо. При этих испытаниях используются остроугольные конусы (обычно $\alpha = 30^\circ$).

Противоречивые мнения высказываются относительно влияния диаметра наконечника на сопротивление зондированию.

При массовых производственных испытаниях считают, что удельное сопротивление грунта инвариантно по отношению к площади поперечного сечения зонда, и допускают применение

конусов различных размеров. Наиболее широко распространены зонды с коническим наконечником диаметром 36 мм площадью 10 см² и углом при вершине $\alpha = 60^\circ$.

Специальные экспериментальные и теоретические исследования показали, что сопротивление зондированию зависит от скорости погружения зонда, и эта зависимость носит знакопеременный характер, связанный с изменением вязкости грунта [6]. При скоростях 0,4 и 1,1 м/мин отношение $\frac{R_v}{R_{01}} \approx 1$ (R_v — «скоростное» сопротивление зондированию; R_{01} — сопротивление при скорости 0,1 м/мин). Поэтому испытания для количественной оценки инженерно-геологических свойств грунтов должны выполняться при скорости, не превышающей 0,5 м/мин. Зондирование в целях качественного расчленения разреза может вестись на повышенной скорости около 1,0 м/мин, которая должна сохраняться постоянной в течение опыта. Скорость извлечения зонда не ограничивается.

Каждая установка статического зондирования включает следующие основные узлы: зонд с коническим наконечником и комплектом сменных штанг; силовой блок для погружения и извлечения зонда с захватывающим устройством; измерительно-регистрирующую аппаратуру для фиксирования и регистрации сопротивления грунта зондированию; анкерное устройство для восприятия реактивного усилия; опорную раму или станину, на которой монтируются все узлы; ходовую систему для транспортирования установки.

Испытания статическим зондированием выполняются в соответствии с инструкцией по эксплуатации применяемой установки. Общие положения методики и последовательность операций следующие.

В выбранной точке зондирования производят горизонтальную планировку поверхности.

Установка закрепляется с помощью анкерных свай и приводится в вертикальное положение. Вертикальность проверяется уровнем или отвесом в двух плоскостях и поддерживается в течение всего опыта.

Монтируется и включается силовая система и измерительно-регистрирующая аппаратура, затем зонд вдавливают в грунт равномерно и непрерывно на глубину, обеспеченную максимальным ходом силового приспособления.

При этом фиксируется общее сопротивление зондированию P и сопротивление под острием зонда p_c . Отсчеты снимаются через каждые 10 см погружения или непрерывно (при автоматической записи) по глубине. Результаты записей заносят в специальный журнал (приложение V). После этого захватывающее устройство поднимают в крайнее верхнее положение и наращивают штанги. При этом резьба должна завинчиваться до отказа.

Зондирование ведут до заданной глубины или до пределов, обеспеченных техническими возможностями установки (максимальная глубина, максимальное усилие). По окончании работ зонд извлекают в порядке, обратном вдавливанию. Установка разанкеривается и приводится в транспортное положение. Устье скважины закрепляется репером.

Для определения несущей способности свай по методике, разработанной БашНИИСтроем*, производится зондирование со стабилизацией. В этом случае сопротивление грунта зондированию определяется при неподвижном зонде на заданной глубине в состоянии предельного равновесия. Обычно зонд останавливается с интервалом 0,5 или 1,0 м по глубине. За критерий стабилизации принимается момент, когда в течение 2 мин величины сопротивления грунта остаются постоянными [4].

Применимость метода СЗ обуславливается составом и состоянием грунта и величиной его сопротивляемости внедрению зонда. Статическое зондирование неприменимо в мерзлых и крупнообломочных грунтах и грунтах, содержащих более 25% крупнообломочного материала. При этом размер включений не должен превышать $\frac{1}{5}$ диаметра конуса. Диапазон исследуемых грунтов по сопротивляемости зондированию ограничивается с одной стороны предельно допустимым усилием, а с другой — пределами и погрешностью измерительной аппаратуры, т. е. параметрами применяемой установки. Одну из главных ролей играют анкерные устройства, которые часто не могут воспринять на себя реактивное усилие зондирования. Анкерные устройства не оправдывают себя в слабых грунтах (в подобных случаях лучше применять ДЗ), при зондировании с плотов, понтонов и других плавсредств. Реактивное усилие в этом случае уравнивается контргрузами (ящиками с балластом, емкостями с водой и т. п.).

Способы регистрации результатов статического зондирования

Общее статическое сопротивление обуславливается силами реакции грунта на внедрение наконечника и силами трения грунта о боковую поверхность зонда. Для отдельного определения тех и других в настоящее время наиболее широко распространены два приема:

1. Применение зондов с защитными трубами (рис. 33). В этом случае зондировочная штанга с конусом свободно перемещается в защитной трубе, обычно равной по диаметру основанию конуса. Конус и защитная труба погружаются в грунт одновременно. Силы трения грунта о боковую поверхность воспринимаются защитной трубой и могут быть зафиксированными отдельно от

* В настоящее время — НИИПромстрой Министерства промышленного строительства СССР.

сопротивления под острием зонда. Основными недостатками способа являются соприкосновение внутреннего стержня и трубы при изгибах зонда, которые практически всегда имеют место, и возможность попадания частиц грунта в зазор между штангой и трубой. Это приводит к возрастанию сил трения, а иногда и к полному заклиниванию штанги.

Установка снабжается двумя динамометрами (или манометрами при гидравлической системе), одним из которых измеряют общее статическое сопротивление P , а другим — статическое сопротивление p_c .

Примечание. Показания снимаются в единицах градуировки шкал приборов (мм, атм), а затем переводятся в кг или т с помощью тарировочных таблиц и графиков.

Удельное статическое сопротивление q вычисляется по формуле *

$$q = \frac{P_c}{F} \text{ кг/см}^2, \quad (4)$$

где F — площадь основания конуса, см².

Общее сопротивление по боковой поверхности Q определяется как разность статических сопротивлений:

$$Q = P - p_c \text{ кг.} \quad (5)$$

Удельное сопротивление по боковой поверхности

$$f = \frac{Q}{\pi dH} \text{ кг/см}^2, \quad (6)$$

где d — диаметр зонда, см;

H — глубина погружения, см.

Считают, что эта величина равна среднему значению удельного трения по всей длине зонда, погруженного на глубину H , и формула

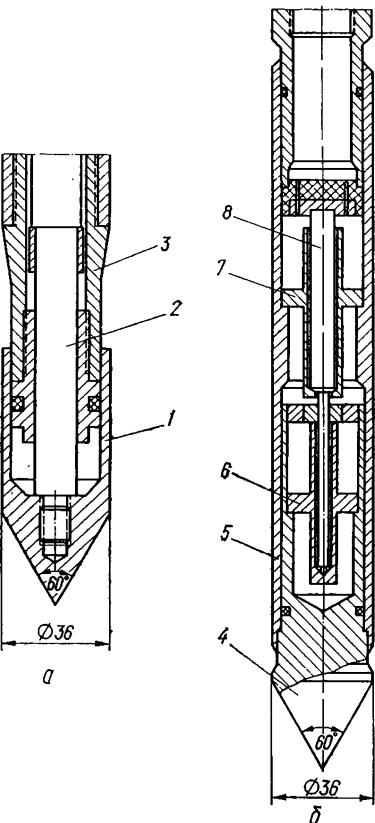


Рис. 33. Наконечники для испытательных грунтов СЗ:

a — установка типа С-979; *б* — установка типа С-832; 1 — наконечник 36 мм; 2 — штанга 19 мм; 3 — защитная труба 36 мм; 4 — конус; 5 — цилиндр трения; 6 — 7 — упругие элементы с наклеенными датчиками; 8 — упорный шток.

(6) применима для однородной толщи грунта.

В слоистой толще удельное трение нижележащего слоя рекомендуется рассчитывать по формуле:

* Здесь и далее символы приняты соответственно СНиП II-Б. 5—67*.

$$f_n = \frac{(P_n - P_{n-1}) - (P_{c_n} - P_{c_{n-1}})}{\pi d (H_n - H_{n-1})} \text{ кг/см}^2, \quad (7)$$

где P_n и P_{n-1} — общее статическое сопротивление, замеренное соответственно на отметках подошвы и кровли слоя;

P_{c_n} и $P_{c_{n-1}}$ — статическое сопротивление, замеренное там же;

$H_n - H_{n-1}$ — мощность слоя;

d — диаметр зонда.

При этом не учитывается естественное изменение величины трения по боковой поверхности с длиной зонда, прошедшего через единицу толщины слоя, вызванное прогрессирующим разрушением структурных связей, изменением ориентации частиц и вовлечением их в движение. Суммарная величина трения по боковой поверхности стержневого зонда, как правило, меньше суммы сил трения отдельных слоев. В этой связи показатель f целесообразнее определять с помощью элемента, соизмеримого с толщиной слоя, так называемого короткого зонда.

2. Фиксирование сопротивления под острием и по боковой поверхности зонда с помощью призабойных датчиков, с передачей информации на поверхность. Способ позволяет исключить влияние большинства искажающих результаты факторов. Сопротивление по боковой поверхности измеряется с помощью относительно короткого мерного кольца, расположенного вблизи наконечника. Усилие на конус и мерное кольцо передаются через упругие элементы, снабженные специальными датчиками (рис. 33). Обычно применяются высокочастотные индукционные или тензоэлектрические датчики, преобразующие деформации упругих элементов в электрические сигналы, которые передаются по кабелю и регистрируются с помощью электронной аппаратуры. Ленты с полевыми записями—диаграммы используются как рабочие графики. Поэтому масштаб записи усилий играет первостепенную роль. Масштаб устанавливается при проектировании системы, а затем уточняется и систематически контролируется путем тщательных тарировок, т. е. установления зависимости между показаниями прибора P_0 и истинными величинами измеряемого усилия P . Тарировки выполняют с помощью образцовых динамометров во всем диапазоне рабочих усилий не менее чем в тройной повторности. При постоянных параметрах зонда с диаграммных лент непосредственно снимаются величины q , кг/см², и f , кг/см².

Прием способен давать наиболее достоверную информацию и является весьма перспективным. Однако измерительно-регистрационная аппаратура, конструкции зондов и методика проведения испытаний пока еще недостаточно отработаны.

Первый способ измерения усилий применен в установках типа С-979 конструкции Фундаментпроекта, УСЗК-3 УралТИСИЗа,

ЗБУК-1 КазТИСИЗа, пенетрометре ЦНИИСа и приставках к буровым станкам типа ПСПМ-4 ПНИИИСа.

Второй способ использован в установках типа С-832 БашНИИСтроя, СПК ВСЕГИНГЕО, УЗУ Укргипрпроводхоза и др.

§ 5. ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ ЗОНДИРОВАНИЕМ

Грунты, даже относительно однородные, обладают такой пестротой и многообразием оттенков физико-механических свойств, что правильно оценить их можно только лишь в результате обобщения и анализа большого количества экспериментальных данных, полученных в различных точках исследуемого слоя по глубине и простиранию. Обобщенным показателем того или иного свойства горной породы является так называемое генеральное среднее его значение, т. е. средняя величина бесконечно большого числа частных определений. В результате инженерно-геологических исследований практически может быть получено только среднее значение некоторого конечного числа частных определений, которое будет тем ближе к генеральному среднему, чем больше объем выработки. Зондирование позволяет исследовать изменчивость сопротивляемости грунта достаточно часто, а при автоматической записи — непрерывно по всей глубине разреза в точке испытаний. Поэтому при обработке результатов приходится иметь дело с большим количеством частных показателей, изменяющихся под влиянием ряда объективных и субъективных факторов (неоднородность грунтов, погрешности при испытаниях и т. п.).

Установление обобщенных показателей невозможно без применения математической статистики, располагающей методами изучения закономерностей массовых случайных явлений, изменчивость которых обусловлена целым рядом причин, не поддающихся индивидуальному учету.

Обработка результатов зондирования в основном сводится к анализу некоторой выборки случайных величин, которыми являются отдельные данные полевых исследований. Статистические методы применимы лишь при условии, что рассматриваемая выборочная совокупность есть часть определенной генеральной совокупности, и изменение отдельных значений не является закономерным. В нашем случае рассматриваемая группа данных должна относиться к единообразному инженерно-геологическому элементу, в пределах которого нет закономерного изменения свойств.

Приемы статистической обработки материалов инженерно-геологических исследований приводятся в литературе [7, 8, 10].

Первичная полевая обработка результатов зондирования

Результаты испытаний, зафиксированные в полевых журналах или на лентах самописцев, подвергаются первичной обработке, которая завершается построением графиков изменения по глубине частных значений сопротивления зондированию. Данные зондирования до глубины 1 м из обработки исключаются.

Обработка материалов СЗ обычно не вызывает затруднений. При испытаниях установками типа С-979 показания манометров и динамометров умножаются на постоянные коэффициенты пропорциональности K , которые определяются путем тарировки приборов. Выраженные в килограммах общее статическое сопротивление P и статическое сопротивление под конусом P_c заносят в соответствующие графы полевого журнала.

С помощью формул (4) — (6) вычисляют удельное статическое сопротивление q , общее сопротивление по боковой поверхности Q и удельное сопротивление по боковой поверхности f . Затем на миллиметровой бумаге строят совмещенные графики статического зондирования, придерживаясь следующих рекомендуемых масштабов

Глубина зондирования	В 1 см 1,0 м
Удельное статическое сопротивление	20 кг/см ²
Общее сопротивление по боковой поверхности	0,5 т
Удельное сопротивление по боковой поверхности	1 т/м ²

При испытаниях на опорных участках или вблизи геологических выработок графики зондирования совмещают с колонками этих выработок или геологическим разрезом опорного участка (рис. 34).

Самописцы (установки типа С-832) дают возможность получить графическое изображение изменчивости показателей зондирования с глубиной. На диаграммную ленту наносят шкалу глубины и соответствующего параметра (q, f) и она является исходным материалом для дальнейших интерпретаций и использования результатов СЗ (рис. 35).

Обработка данных динамического зондирования более сложна. Как отмечалось выше, в качестве меры сопротивления грунта применяются прямые характеристики, получаемые в ходе испытаний, это — количество ударов, необходимых для погружения зонда на 1 дм N или величина осадки от заданного числа ударов s . Однако применение сменного оборудования (легкого и тяжелого) и нестандартных режимов работы при подобном способе оценки приводит к несопоставимым результатам. В этом случае удобно пользоваться показателем удельного динамического сопротивления, кг/см²

$$P_d = KA, \quad (9)$$

где K — коэффициент потери энергии при ударе;

A — удельная работа зондирования.

Коэффициент K вычисляется по формуле

$$K = \frac{M_m + e^2 \Sigma M_3}{M_m + \Sigma M_3}, \quad (10)$$

где M_3 — вес зонда и направляющей молота, кг;

M_m — вес молота, кг;

e — коэффициент восстановления скорости молота при ударе, принимаемый $\approx 0,56$.

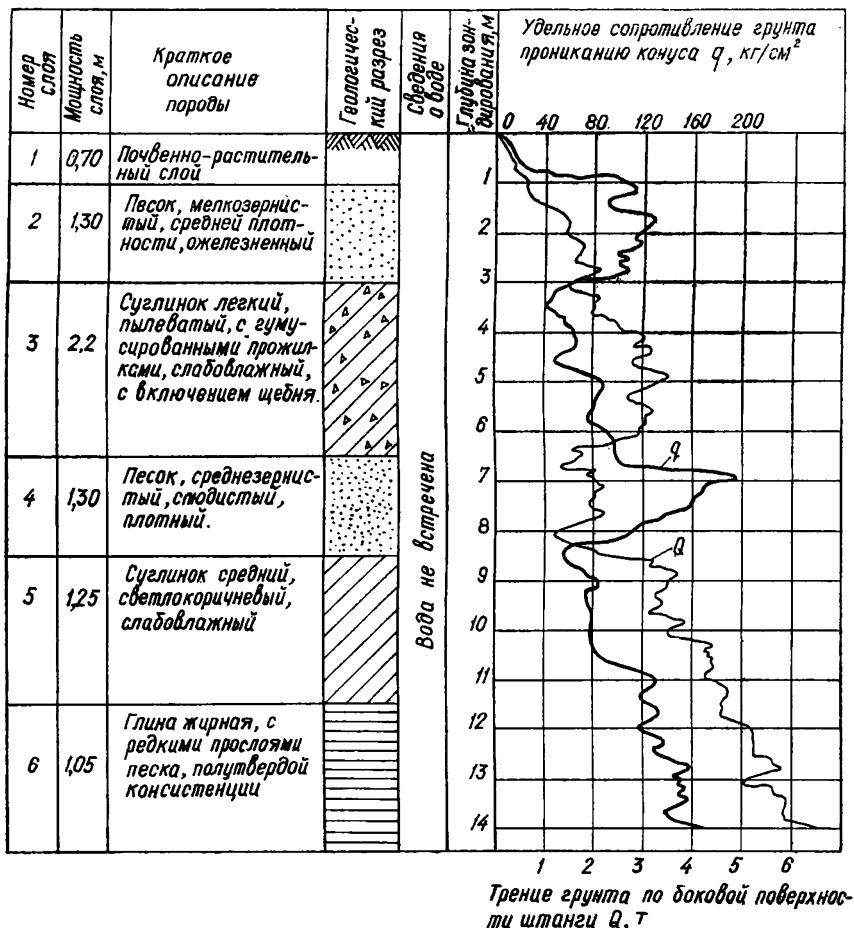


Рис. 34. График статического зондирования установкой С-979.

Удельная работа зондирования при измерении осадки от залога определяется (в кг/см²) выражением

$$A = \frac{nM_m H}{\omega s}, \quad (10)$$

а при непосредственном счете ударов на 10 см погружения

$$A = \frac{N}{10} \cdot \frac{M_m H}{\omega}, \quad (12)$$

где n — число ударов в залеге;
 s — осадка зонда за залог;
 M_m — вес молота, кг;
 H — высота падения молота, см;
 ω — площадь конуса, см²;
 N — показатель ДЗ, уд/дм.

При динамическом зондировании естественно будут возникать силы трения штанги о грунт. Наиболее простым и достаточно надежным способом устранения (или значительного снижения) этих сил является применение зондов с уширенным наконечником при соотношении $d_n/d_{ш} \geq 1,7$, что, однако, не относится к грунтам, не способным держать стенки зондировочной скважины. В этом случае влияние сил трения учитывается поправочным коэффициентом Φ , значения которого для мелко- и среднезернистых водонасыщенных песков приведены в табл. 10.

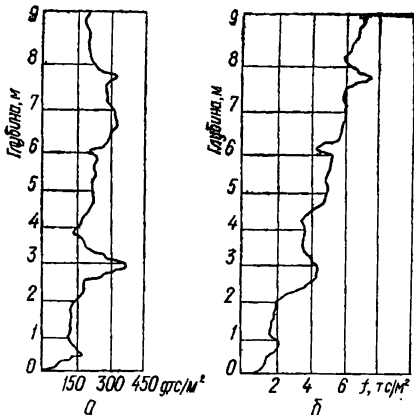
Для других разновидностей грунтов коэффициент Φ определяется опытным путем. С этой целью проводится не менее трех пар сопоставительных испытаний, половина из которых выполняется с предварительным разбуриванием скважин. Если штанги при полевых испытаниях свободно проворачиваются и легко извлекаются из скважин, поправка на трение не вводится. С увеличением глубины зондирования изменяется соотношение между весом молота и штанги и величина потерь при передаче ударного импульса от оголовка к наконечнику. Влияние этих изменений исключается путем введения поправочного коэффициента α , который равен

$$\alpha = \frac{K_n}{K_1}, \quad (13)$$

где K_n — коэффициент потери энергии при ударе для расчетного интервала глубины;

Рис. 35. Диаграммные ленты самописцев при зондировании установки С-832.

a — сопротивление под конусом; b — боковое трение.



K_1 — то же, для первого интервала глубины (0,0—1,5 м).
 Для установок УБП-15 м, НАП-10 и ПДПМ-4 значения поправочных коэффициентов K и α даны в приложении VI.
 В практике обычно считают, что природное давление не оказывает существенного влияния на результаты зондирования.

Однако, как утверждает автор работы [13], при небольших значениях показателя ДЗ (менее 5 *уд/дм*) влияние бытового (природного) давления оказывается весьма существенным и завышает величину показателя на 10—40%. Удельное динамическое сопротивление при этом рекомендуется вычислять по формуле

$$P_d = KA - f - P_{\text{быт}}, \quad (14)$$

где $P_{\text{быт}}$ — бытовое давление, *кг/см²*; f — сила трения грунта о штангу, определяемая опытным путем, *кг/см²*.

При глубине зондирования до 8—10 м увеличение веса штанги компенсируется потерей ударного импульса и влиянием природного давления и находится в пределах точности измерений.

В случае фиксирования осадки зонда от залога полевые материалы обрабатываются с помощью формул (1), (2) и (9) и результаты заносятся в соответствующие графы журнала. При непосредственном счете количества ударов на 10 см погружения в данные при необходимости вводят поправки на вес и трение штанг a и Φ .

Исправленные показатели зондирования именуются приведенными, например:

$$N_{\text{пр}} = \alpha \Phi N, \quad (15)$$

$$P_{\text{д пр}} = \Phi P_d. \quad (16)$$

Результаты динамического зондирования оформляются в виде непрерывных графиков (эпюр), на которых по оси ординат откладывается глубина погружения зонда (*в м*), а по оси абсцисс — вычисленные значения $N_{\text{пр}}$, (S , P_d) соответственно глубинам определения.

При испытаниях ДЗП график имеет прерывистую ступенчатую конфигурацию (рис. 36).

Таблица 10

Глубина зондирования, м	0,0—1,5	1,5—4,0	4,0—8,0	8,0—12,0	12,0—16,0	16,0—20,0
Φ	1,00	0,92	0,84	0,76	0,68	0,60

При построении графиков рекомендуется соблюдать следующие масштабы:

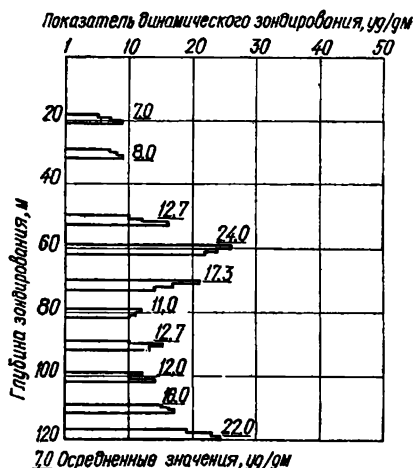


Рис. 36. График динамического зондирования проботборником.

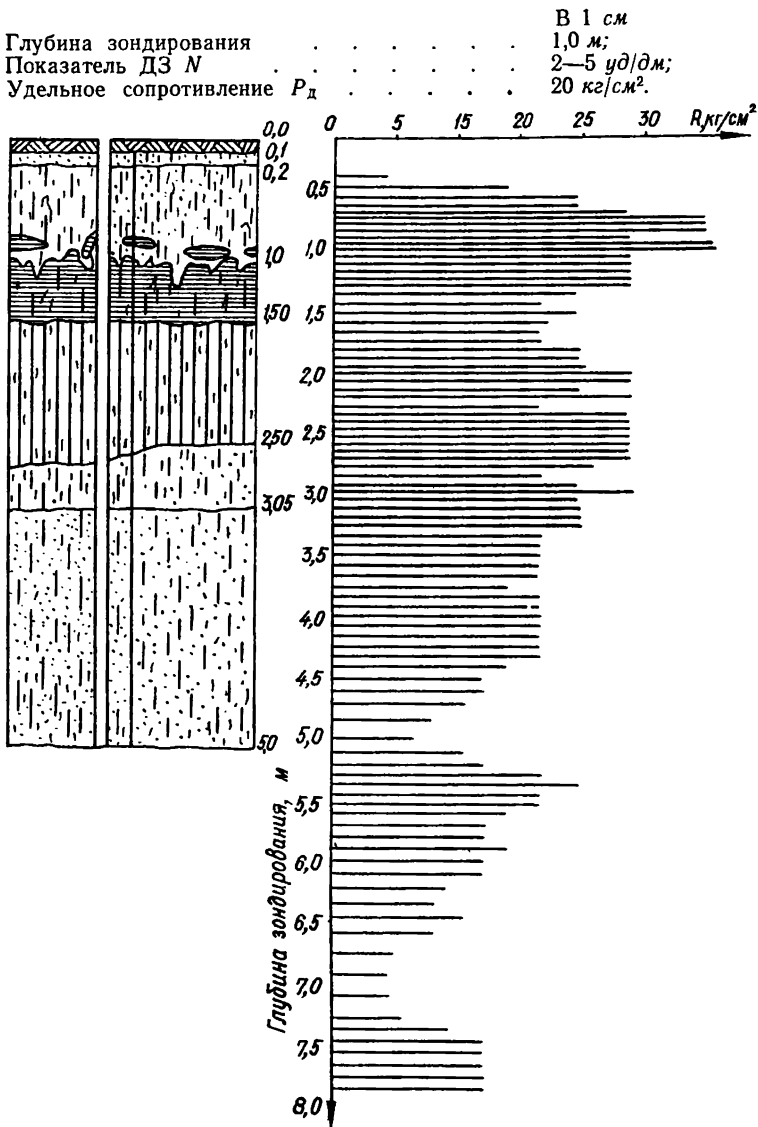


Рис. 37. Результаты ДЗК в координатах удельное динамическое сопротивление — глубина зондирования:

0,0—0,1 — почвенный слой; 0,1—0,2 — супесь гумусированная; 0,2—1,0 — супесь серая; 1,0—1,5 — глина; 1,5—2,5 — суглинок тяжелый; 2,5—3,5 — суглинок средний; 3,05—5,0 — супесь пылеватая.

Подобный прием обработки достаточно трудоемок, особенно при испытаниях плотных грунтов, так как интенсивность деформации характеризуется частотой линий ударов по оси ординат

(рис. 37; 38, а). К недостаткам его следует отнести также то, что в случае фиксирования осадки зонда от залога величины показателя N и осадки s оказываются взаимосвязанными (см. формулу (2), и погрешность в определении последней влечет за собою искажение по обеим осям графика.

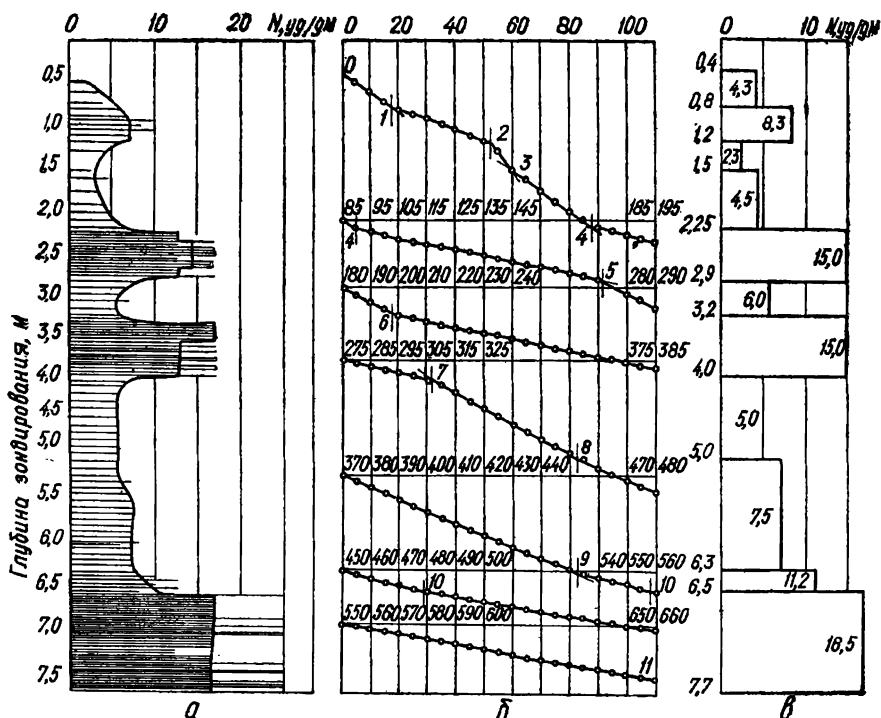


Рис. 38. Обработка результатов ДЗК:

а — график в координатах $N-H$; б — тот же график в координатах $H-n$; в — эпюра средних показателей N .

Оформлять результаты динамического зондирования можно также путем построения графика в координатах глубина зондирования H — число ударов молота нарастающим итогом n (рис. 38, б). Преимущество этого способа описано ниже. Графики динамического зондирования по возможности совмещаются с колонками геологического разреза.

Окончательная камеральная обработка и интерпретация результатов зондирования

Результаты испытаний, представленные эпюрами и графиками, подвергаются дальнейшей обработке с целью составления и уточнения инженерно-геологического разреза, получения дан-

ных об изменчивости опробуемых горных пород, установления показателей инженерно-геологических свойств и решения других частных задач в зависимости от общей задачи исследований.

Выделение слоев равных сопротивлений на эпюре отдельной скважины осуществляется путем визуального анализа графиков зондирования, построенных в координатах $H-N$ или $H-q$. Если отсутствуют четко выраженные границы, то этот прием не приводит к надежным результатам. В подобных случаях выделяются ориентировочные участки равных сопротивлений, для которых вычисляют средние значения показателей зондирования и их дисперсии, а затем оценивают существенность расхождения выборочных средних и дисперсий. Слои, для которых различие средних оказалось не существенным, объединяются, и анализ повторяется заново.

Пример. На эпюре динамического зондирования песков в интервале глубин 2,7—7,0 м недостаточно четко выделяются два слоя с характеристиками:

$$\begin{aligned}\bar{X}_1 &= 10,9; \quad \sigma_1 = 3,11; \quad n_1 = 24; \\ \bar{X}_2 &= 9,3; \quad \sigma_2 = 2,39; \quad n_2 = 19.\end{aligned}$$

Для оценки существенности расхождения и решения вопроса о возможности объединения этих слоев воспользуемся критерием Романовского R . Сначала определяем дисперсионное отношение и степени свободы:

$$\begin{aligned}F_3 &= \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{9,67}{5,7} = 1,7; \\ v_1 &= n_1 - 1 = 24 - 1 = 23; \\ v_2 &= n_2 - 1 = 19 - 1 = 18.\end{aligned}$$

Далее вычислим величину θ и ее стандарт σ_θ :

$$\theta = \frac{v_2 - 2}{v_2} \cdot F_3 = \frac{18 - 2}{18} \cdot 1,7 = 1,52;$$

$$\sigma_\theta = \sqrt{\frac{2(v_1 + v_2 - 2)}{v_1(v_2 - 4)}} = \sqrt{\frac{2(23 + 18 - 2)}{23(18 - 4)}} = 0,49.$$

Отсюда критерий R будет равен

$$R = \frac{|1,52 - 1|}{0,49} = 1,06 < 3.$$

Расхождение случайно, и слои можно объединить.

Проверим существенность различия выборочных средних:

$$\begin{aligned}\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} &= \sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}} = \sqrt{\frac{3,11^2}{24} + \frac{2,39^2}{19}} = 0,837; \\ \cdot 2\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2} &= 1,674; \quad \bar{X}_1 - \bar{X}_2 = 10,9 - 9,3 = 1,6. \\ &|\bar{X}_1 - \bar{X}_2| < 2\sigma_{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}.\end{aligned}$$

Различие средних не существенно. Обработка данных зондирования путем построения графика в координатах *глубина зондирования Н* — *нарастающее количество ударов n* позволяет быстро и объективно выделить слои равных сопротивлений [11]. Этот прием основан на аналогии между процессом погружения зонда и деформацией грунта при циклическом загрузении.

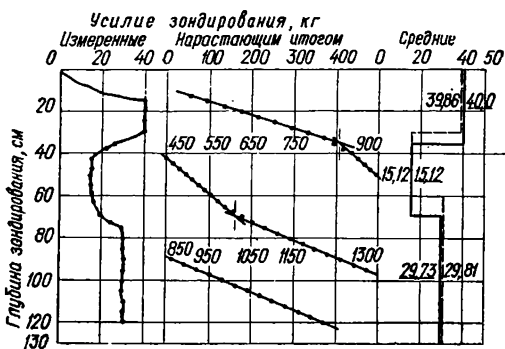


Рис. 39. Обработка результатов СЗ с построением эпюры средних показателей.

График *Н*—*n* представляет систему сопряженных прямых, отвечающих слоям равных сопротивлений. Точки перелома графика определяют границы слоев. Осредняющие линии рекомендуется проводить способом натянутой нити (рис. 38). Этот прием выделения слоев применим и к данным статического зондирования при условии съема показаний через строго определенный интервал глубины. На рис. 39 показано выделение слоев при мелком зондировании с помощью графика *Н*— Σp_c (Σp_c — усилие зондирования нарастающим итогом).

Определение среднего значения показателя по глубине выделенного слоя в отдельной скважине и оценку рассеяния выполняются статистическим (аналитическим) или графоаналитическим способами. Аналитический способ сводится к вычислению среднего арифметического выборки и других статистик.

Графоаналитический способ нахождения среднего по графикам зондирования в координатах *Н*—*N* или *Н*—*q* основан на том, что площадь эпюры, ограниченная осью ординат и линией графика в пределах рассматриваемого слоя, выражает работу зондирования на этом участке. Среднее значение показателя может быть вычислено по формулам:

$$\bar{N} = \frac{S}{h} \quad (17)$$

или

$$\bar{q} = \frac{S}{h}, \quad (18)$$

Если средние значения характеристик грунта, влияющих на результаты зондирования, остаются постоянными, а дисперсия отдельных измерений незначительна, то и отношение $\frac{\Delta n}{\Delta H}$ (угловой коэффициент линии) будет постоянным, что является объективным признаком однородного слоя. Изменение характеристик грунта немедленно повлечет за собою изменение этого отношения.

где S — площадь эпюры, соответствующая выделенному слою;
 h — мощность слоя.

Площадь эпюры определяется с помощью планиметра, палетки и т. п.

Для вычисления среднего квадратического отклонения воспользуемся зависимостью

$$\sigma = 1,25\theta.$$

Среднее абсолютное отклонение θ находят графоаналитическим путем. На графике зондирования через точку с абсциссой \bar{N} проводят прямую, параллельную оси ординат, и определяют площадь части эпюры, отсеченной этой линией.

$$\theta = \frac{2S_0}{h}, \quad (19)$$

где S_0 — площадь эпюры, лежащая вправо от прямой;
 h — мощность слоя.

Изображение результатов зондирования в координатах $H-n$ и $H-\Sigma p_c$ позволяет непосредственно вычислять среднее значение показателя как функцию угла наклона прямой, отвечающей данному слою.

Среднее значение усилия при статическом зондировании определяют по формуле

$$\bar{p}_c = \frac{(p_2 - p_1) m}{H_2 - H_1} \text{ кг}, \quad (20)$$

где H_1 , p_1 и H_2 , p_2 — координаты двух любых точек на прямом участке графика;

m — интервал отсчета.

Среднее значение показателя динамического зондирования получают из выражения

$$\bar{N} = 10 \frac{n_2 - n_1}{H_2 - H_1} \text{ уд/дм}, \quad (21)$$

где H_1 , n_1 и H_2 , n_2 — координаты двух любых точек, принадлежащих прямой графика $H-n$.

По величинам \bar{N} или \bar{p}_c и ординатам точек перелома графика $H-n$ строятся эпюры средних показателей по скважине. Разница в значениях \bar{p}_c , определенных по выражению (20) (на рис. 39 подчеркнуты) и вычисленных арифметически, не превышает $\pm 1\%$. Границы слоев устанавливаются с точностью 5—10 см (см. рис. 38, в; 39).

Обобщенный показатель зондирования для выделенного слоя в пределах опробованного участка является характеристикой слоя и основой для оценки его других инженерно-геологических свойств. Участки эпюр отдельных скважин, предположительно относящиеся к одному инженерно-геологическому элементу, выделяются путем логического анализа. Слой в этом случае рас-

смаатривается как обобщенная выборочная совокупность, а результаты опробования по отдельным скважинам — как классовые интервалы этой совокупности со средним значением \bar{X} и частотой n , которая равна мощности слоя, отнесенной к интервалу съема показаний (10 см или средняя осадка зонда от залога). С учетом этого положения ведется вся дальнейшая обработка.

Прежде чем приступить к установлению обобщенного показателя, необходимо убедиться, что выделенные средние выборочные значения (участки эпюр отдельных скважин) действительно относятся к одной генеральной совокупности. При небольшом количестве опытов этот вопрос может быть решен путем сравнения дисперсий с помощью критериев Фишера и Романовского. При оценке существенности расхождения большого числа выборок обращаются к критерию отбрасывания крайних значений, вопрос о котором решается с помощью таблицы интеграла вероятностей. Для этого определяют эмпирическое среднее из выбранных совокупностей \bar{X} и основное среднее квадратическое отклонение σ .

Отклонение крайнего (большого или меньшего) значения x_k , выраженное в единицах основного отклонения, равно

$$\xi = \frac{x_k - \bar{X}}{\sigma} . \quad (22)$$

Приближенная вероятность появления варианта с данным или большим отклонением выразится зависимостью

$$Q(\xi) = 1 - \Phi(\xi) . \quad (23)$$

$\Phi(\xi)$ находят из таблицы значений интеграла вероятностей, приводимой во всех пособиях по математической статистике.

Если вероятность $Q(\xi)$ окажется малой, то крайнее значение x_k должно быть отброшено.

Пример. По десяти зондировочным скважинам логическим отбором выделен слой мелкого маловлажного песка средней плотности. Средние значения показателя ДЗ по скважинам: 11; 6; 15; 7; 5; 7; 6; 8; 6; 9 уд/дм.

Эмпирическое среднее значение $\bar{X}=8,0$. Основное среднее квадратическое отклонение $\sigma=2,88$. Крайние значения совокупностей 15 и 5 уд/дм.

Определим число показателей, которые могут лежать вне предела 14 уд/дм.

$$\xi = \frac{14-8}{2,88} = 2,08; \quad \Phi(\xi) = \Phi(2,08) \approx 0,96;$$

$$Q(\xi) = 1 - \Phi(\xi) = 1 - 0,96 = 0,04.$$

- Это вероятность появления показателя вне предела 14 уд/дм при одном испытании, а при 10 можно ожидать максимум 0,4

значения. Следовательно, значение 15 уд/дм должно быть исключено из данного ряда.

Аналогично определяется вероятность появления минимального показателя в данной совокупности. Однако полностью отбрасывать аномальные значения можно только после тщательного анализа, так как они нередко могут объективно характеризовать дискретные изменения в толще пород.

Установив принадлежность всех выборок к одному инженерно-геологическому элементу, приступают к оценке достаточности имеющегося материала для обеспечения заданной точности результатов испытаний.

Показатель точности $\rho_{\bar{x}}$ связан с коэффициентом вариации v зависимостью $\rho_{\bar{x}} = \frac{v}{\sqrt{n}}$, где n — количество наблюдений.

Характеризуя однородность грунта относительно рассматриваемого признака, коэффициент вариации v для каждого выделенного слоя практически остается постоянным. Тогда точность исследований оказывается в обратно пропорциональной зависимости от числа определений.

Располагая эмпирическими значениями n_1 и $\rho_{\bar{x}}$ некоторого количества предварительных исследований и задавшись желаемой точностью $\rho_{\bar{x}}$, легко можно определить необходимое количество опытов n_2

$$n_2 = n_1 \left(\frac{\rho_{\bar{x}}'}{\rho_{\bar{x}}} \right)^2. \quad (24)$$

Исходные выражения (24) обеспечивают определение искомой величины n_2 с вероятностью 0,683, что не всегда удовлетворяет условиям опыта. Наиболее употребляемые в практике значения доверительной вероятности 0,90; 0,95; 0,99 и показатели точности $\rho_{\bar{x}}$ (5, 10, 15, 20, 25) %. Известны несколько способов решения задачи о минимальном объеме выборки, обеспечивающем получение обобщенного показателя с любой заданной точностью и вероятностью.

Рассмотрим один из них. Приняв допущение о равенстве выборочных среднего \bar{x} и стандарта σ_x соответственно среднему \bar{X} и стандарту σ_0 большой выборочной совокупности, при отклонении \bar{x} от \bar{X} не более $0,1 \bar{X}$, автор работы [12] рекомендует определять число наблюдений n_x , обеспечивающее заданную точность и вероятность среднего арифметического, базируясь на распределении Стьюдента. Величина n_x находится с помощью таблицы (приложение VII) по заданной доверительной вероятности и значению

$$\frac{t_x}{\sqrt{n_x}} = \frac{01X}{\sigma_0}. \quad (25)$$

Пример. По данным Г. К. Бондарика [10], при испытании лесовидного суглинка динамическим зондированием в 15-ти точках было получено эмпирическое среднее значение удельного динамического сопротивления $\bar{P}_d = 25,1$ и среднее квадратическое отклонение $\sigma = 5,3$. Требуется определить достаточность опробования для обеспечения заданной точности и вероятности.

а) Точность 10%, вероятность 0,683.

Коэффициент вариации равен

$$v = \frac{\sigma}{\bar{P}_d} \cdot 100 = \frac{5,3}{25,1} \cdot 100 = 21,1\%.$$

Точность опыта

$$\rho_0 = \frac{v}{\sqrt{n}} \neq \frac{21,1}{15} = 5,45\%.$$

По формуле (24) находим минимальное число определений

$$n_x = n \left(\frac{\rho_0}{\rho} \right)^2 = 15 \left(\frac{5,45}{10} \right)^2 \approx 5 < 15.$$

б) Точность 10%, вероятность 0,90.

Определив по формуле (25) показатель

$$\frac{t_x}{\sqrt{n_x}} = \frac{0,1\bar{P}_d}{\sigma} = \frac{2,51}{5,3} = 0,47,$$

из таблицы (приложение VII) находим $n_x = 14 < 15$.

Число проведенных испытаний обеспечивает выполнение обо-их условий.

Убедившись в том, что рассматриваемый материал характеризуется единообразный инженерно-геологический элемент и число определений отвечает выдвигаемым требованиям, определяем обобщенный показатель зондирования \bar{A} (N , P_d , q и т. д.) как средневзвешенную величину из отдельных средних значений A_i с учетом толщины слоя l_i в каждой точке испытаний и числа проведенных зондирований r

$$\bar{A} = \frac{\sum_1^r A_i l_i}{\sum_1^r l_i}. \quad (26)$$

Среднее квадратическое отклонение для слоя $\bar{\sigma}$ находим из выражения

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\bar{\sigma}_i^2 + \frac{\Sigma(A_i - \bar{A})^2}{r}}, \quad (27)$$

где $\bar{\sigma}_i^2$ — среднее выборочных дисперсий.

После этого проверяем условие $|\bar{A} - A_i| \leq 3\sigma$. Результаты, не удовлетворяющие этому условию, исключаются из обработки, и обработку повторяют заново.

Обобщенный показатель, вычисленный по выборочным данным, в определенной мере отличается от величины генерального среднего по слою, поэтому в том случае, когда он выступает в качестве расчетной величины, рекомендуется вводить поправочные коэффициенты, учитывающие возможную ошибку определения и особенности работы сооружения

$$A^p = Km\bar{A}, \quad (28)$$

где $K = 1 - \frac{\bar{\sigma}}{\bar{A}}$ — коэффициент однородности;

m — коэффициент условий работы согласно норм.

Геологический разрез по данным зондирования в зависимости от задачи и условий испытаний устанавливается по одной из следующих методик:

1) путем расчленения толщи горных пород на слои согласно граничным значениям показателей зондирования, характерным для каждого слоя;

2) путем интерпретации результатов зондирования, выраженных в изолиниях (или слоях) равных сопротивлений, на основе их всестороннего анализа совместно с данными опорного бурения.

В первом случае необходимо располагать материалами предшествующих изысканий, позволяющими ориентировочно наметить разрез и выбрать наиболее характерные для него опорные участки. На каждом участке закладывается 4—5 зондировочных скважин, осредненные результаты которых сопоставляются с результатами геолого-петрографического расчленения разреза. При необходимости намечаются дополнительные разведочные выработки.

Для каждого слоя отбираются частные значения показателей по всем скважинам опорного участка или группы участков, которые рассматриваются как варианты одной выборочной совокупности. Далее строится график рассеяния и известными приемами вычисляются среднее значение \bar{x} и среднее квадратическое отклонение σ . Величины, выходящие за пределы интервала $\bar{x} \pm 3\sigma$, исключаются из рассмотрения. После этого проверяется гипотеза о нормальном распределении выборочной совокупности.

В качестве граничных значений интервала сопротивлений зондированию, отвечающих выделенному слою, принимаются «двухсигмовые пределы» $\bar{x} \pm 2\sigma$. Таким образом обеспечивается попадание случайной величины в указанный интервал в 954 случаях из 1000, т. е. с вероятностью 0,95.

Надежность расчленения разреза по данным зондирования оценивают графоаналитическим путем.

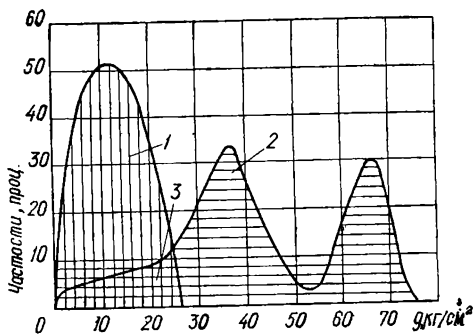


Рис. 40. Оценка надежности выделения слоев с различным сопротивлением зондированию:

1 — лессовидный суглинок ниже уровня грунтовых вод; 2 — то же выше уровня грунтовых вод; 3 — площадь перекрытия 15%.

логических разностей, установления уровня грунтовых вод, отделения нарушенных грунтов от ненарушенных и т. д.

В качестве примера определения глубины залегания грунтовых вод по данным зондирования на рис. 40 приводятся результаты исследований М. И. Хазанова и Э. Р. Черняка [16]. Кривые распределения сопротивлений зондированию лессовидных суглинков выше и ниже уровня грунтовых вод перекрывают площадь, составляющую 15% общей площади, что отвечает вероятности 0,15 и уровню надежности выделения — 0,85. Одновременно демонстрируется возможность оценки однородности слоев, выделенных по внешним признакам. Кривая 2 двумодальна, что свидетельствует о неоднородности породы и наличии более прочных прослоев, которые не могли быть выделены визуально.

Располагая граничными значениями показателей зондирования, производят расчленение толщи на отдельные слои и уточнение предварительно составленного разреза. Пример подобного уточнения, заимствованный нами из работы [10], приводится на рис. 41. Легко видеть, что второй разрез, построенный по данным зондирования и бурения, значительно более детален и достоверен.

Если на участке не проводились предварительные изыскания, применяется второй прием. Материалы выполненных зондировочных испытаний обрабатываются описанными выше методами

Если ставится вопрос о расчленении двух или более выборочных совокупностей, то кривые распределения каждой из них наносятся на общий график. Площадь перекрытия эпюр в долях общей площади отвечает вероятности ошибки, а уровень надежности расчленения $U = 1 - \frac{f}{F}$, где F — вся площадь графиков; f — площадь перекрытия.

Таким образом может быть определена надежность выделения отдельных литологических разностей,

с целью выделения по каждой скважине, а затем по разрезу в целом слоев равных сопротивлений (рис. 42). По разрезам намечают места проходки опорных геологических выработок или расположения опытных площадок. По обобщенным показателям слоев строится обобщенный график зондирования для всей

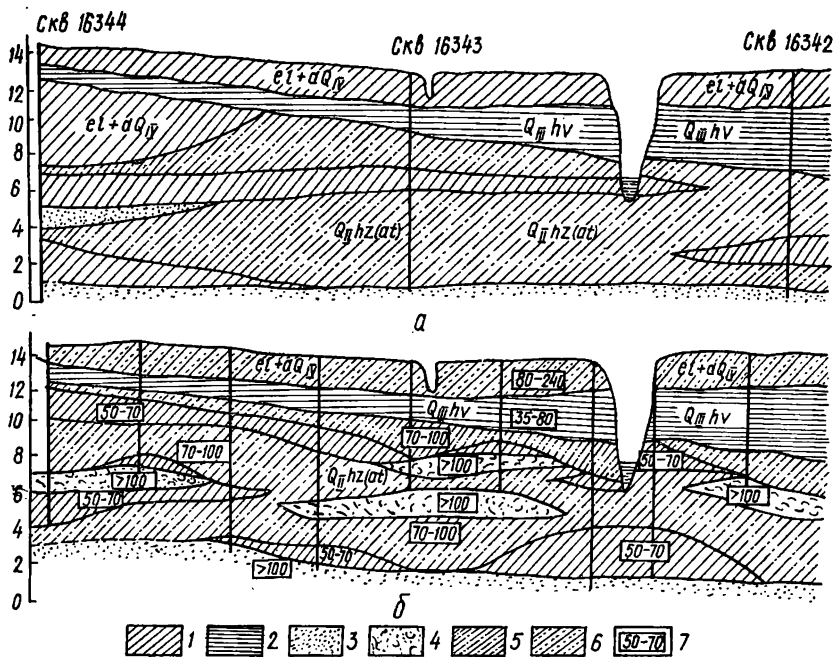


Рис. 41. Пример уточнения разреза:

a — разрез по материалам трех буровых скважин; *b* — разрез, уточненный по данным статического зондирования; 1 — суглинки и глины; 2 — глины; 3 — пески; 4 — пески и супеси; 5 — супеси; 6 — суглинки; 7 — удельное статическое сопротивление, $кг/см^2$.

исследуемой территории. Затем путем визуального анализа отыскиваются места, в которых графики полевых испытаний оказались достаточно близкими к обобщенному. Отклонение среднего значения по слою в отдельной скважине x_i от среднего по слою x_j не должно превышать 5—10%. Выбор площадок, типичных для всей территории, нередко сопряжен со значительными трудностями, так как вероятность удовлетворения указанного условия для всех слоев в одном месте невелика. Поэтому иногда приходится намечать площадки для изучения отдельных слоев или групп. Следует отметить, что подобная скрупулезность в выборе площадок оправдана лишь в случае необходимости оценить по ним все физико-механические характеристики слоев. При исследовании толщ, характеризующихся значительной пест-

ротой напластований (например, аллювиальных или ледниковых отложений и т. п.) установление выдержанных слоев становится весьма затруднительным. В этом случае удобнее пользоваться полями показателей зондирования, построенными в плоскости разреза или среза на определенных отметках. Для построения полей в плоскости разреза средние значения по каж-

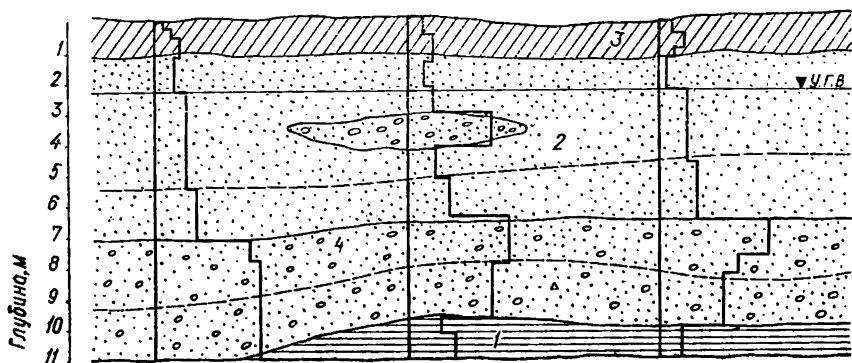


Рис. 42. Построение разреза по данным динамического зондирования:

1 — глины; 2 — пески; 3 — насыпной слой; 4 — песок с галькой и валунами.

дой скважине вычисляются для одних и тех же интервалов глубин, а для получения полей в плоскости среза — на заданной отметке. Размер интервалов назначается в зависимости от частоты и характера переслаивания пород. Изолинии полей проводятся путем линейной интерполяции показателей между отдельными точками плоскости.

На рис. 43 показана часть поля удельных статических сопротивлений переслаивания песчано-глинистых пород ледникового комплекса, приведенного в работе [10].

При рассмотрении результатов испытаний необходимо тщательно анализировать характер изменения сопротивлений грунта под конусом, трения по боковой поверхности зонда, а также индикационной линии графика, под которой понимают огибающую эпюры зондирования (рис. 38, а). Для этой цели весьма полезны общие рекомендации по расшифровке результатов статического зондирования, разработанные М. Бюиссоном на основе обобщения опытных данных (табл. 11).

По характеру индикационной линии можно судить о включении гальки и валунов (резкие увеличения отдельных показателей), наличии кротовин и малых карстовых пустот (резкие снижения отдельных показателей), тонких прослоев в однородной толще и т. д.

В ряде работ [5, 10, 3, 2] приводятся табулированные критерии для расчленения толщи грунтов, разработанные по результатам

некоторых исследований. Следует помнить, что приводимые критерии, равно как и конкретные рекомендации, не могут претендовать на универсальность, а в силу широкой изменчивости факторов, определяющих величину сопротивления зондирова-

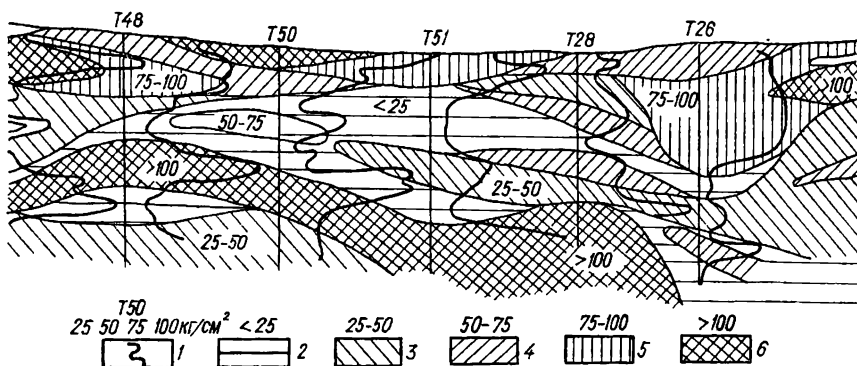


Рис. 43. Поле удельных статических сопротивлений в плоскости разреза пород ледникового комплекса:

1 — график статического зондирования (указаны масштаб и номер скважины); 2—6 — поля равных сопротивлений (диапазон g обозначен на рисунке).

Таблица 11

Статическое сопротивление	Трение по боковой поверхности		
	уменьшается	остается постоянным	возрастает
Уменьшается	Разрушенный грунт с песком из верхних слоев или слабой глиной Результат столкновения с валунами и смещения их в сторону Слабая глина	Влажные илистые грунты с уменьшающейся влажностью Песок и гравий рыхлые	Грунт менее плотный, не разрушенный и маловлажный
Остается постоянным	Грунты песчаные, средней плотности	Илистые и суглинистые грунты, влажные с постоянной плотностью	Маловлажные глины. Мелкозернистые, частично водонасыщенные пески
Возрастает	Пески средней плотности, образующие пустоты. Зонд смещает крупные включения, а пустоты заполняются грунтом с небольшим сцеплением	То же, с возрастающей плотностью	Грунты глинистые и песчаные с возрастающей плотностью. Штанга заклинена крупными включениями

нию, остаются справедливыми лишь в узко региональном плане. Характерные сопротивления зондированию для слоев и их интервалы должны определяться для каждого участка испытаний. Метод аналогий нужно применять очень осторожно, убедившись в полном соответствии литолого-генетических и физико-механических характеристик.

Следует предостеречь испытателей от переоценки роли индикационной линии. В литературе можно встретить примеры выделения литологических разновидностей по характеру очертания индикационной линии графиков $H-N$ при регистрации данных опыта путем изменения осадки зонда от залога. Считают, что для песков характерны прямоугольные ступенчатые изгибы этой линии, а для суглинков она представляет собою плавную изогнутую кривую или наклонную прямую. Ступенчатое очертание объясняется малым влиянием трения грунта о штангу в песках, а плавные и наклонные линии, наоборот, участием сил трения в общем сопротивлении зондированию. В рассматриваемом случае график $N=f(H)$ представляет систему взаимно увязанных переменных, находящихся в обратно пропорциональной зависимости. Если учесть роль относительной погрешности измерений, легко видеть, что при больших осадках от залога и закономерных в этом случае малых относительных ошибках результатов будут иметь место значительные интервалы между точками графика по оси ординат и малые — по оси абсцисс, что, естественно, обусловит плавное очертание индикационной линии. При малых осадках от залога будет наблюдаться обратная картина. Следовательно, плавная индикационная линия может отвечать как мягкопластичным глинам, так и рыхлым пескам, а ступенчатая — тем и другим, но плотного сложения (см. рис. 37). При введении зонда с уширенным наконечником трение по боковой поверхности в значительной степени проявляется в рыхлых песках и практически не сказывается в глинистых грунтах, что также противоречит обоснованию указанного подхода к интерпретации разреза.

После составления окончательно уточненного разреза нередко возникает необходимость в оценке однородности и выдержанности пород в пределах выделенных слоев. Эти данные используются для общей характеристики участка и разработки рекомендаций по системе дальнейшего опробования (количество и размещение выработок, места отбора и количество проб и т. д.) [10].

Степень однородности грунта определяется изменчивостью величин сопротивления зондированию и может быть оценена с помощью коэффициента изменчивости $V = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{x}} \cdot 100$ или коэффициента однородности $K = 1 - V$, где $\bar{\sigma}$ — среднее квадратическое отклонение для всего слоя; \bar{x} — обобщенный показатель по слою. При малом количестве опытов за критерий однородности

принимают $V \leq 30\%$, а при большом $V \leq 10-15\%$. СНИП рекомендует в качестве критерия среднее значение $V \leq 20\%$. Характеристикой однородности поля показателей служит модуль однородности, который определяется отношением коэффициентов изменчивости, вычисленных для двух взаимно перпендикулярных направлений.

Выдержанность породы определяется устойчивостью средних показателей по слою. Количественно выдержанность оценивается показателем выдержанности

$$K_w = \frac{\overline{xn}}{\sum_1^n \overline{x_i}}, \quad (29)$$

где \overline{x} — среднее по скважине, наиболее отличающееся от среднего по слою $\overline{X} = \sum_1^n \overline{x_i}$

При абсолютной выдержанности пород $K = 1$.

Оценка показателей свойств пород по результатам зондирования является актуальной и достаточно трудной задачей.

Установление функциональной взаимосвязи между показателем зондирования и одной из переменных (влажность, объемный вес грунта и т. п.) требует наложения определенных ограничений на все остальные, что резко сужает область ее применения. Это и является осложняющим фактором в развитии теоретических основ интерпретации зондировочных испытаний. В конкретных условиях показатель зондирования успешно коррелирует с отдельными показателями свойств породы.

Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИС) Госстроя СССР совместно с группой ведущих научно-исследовательских и производственных организаций (Фундаментпроект, Гидропроект, НИИпромстрой, НИИ оснований и подземных сооружений, ЦТИСИЗ Госстроя РСФСР, ЦНИИС, ВСЕГИНГЕО) провел большую работу по обобщению опыта зондирования, результатом которой являются «Указания по зондированию грунтов для строительства» [15].

Далее, в таблицах, отмеченных звездочкой, приводятся заимствованные из этих указаний данные по оценке отдельных инженерно-геологических свойств грунтов*. Последние рассматриваются как ориентировочные и могут быть использованы в качестве нормативных характеристик при проектировании зданий и сооружений III и IV классов. Нормативные характеристики для обоснования проектов зданий и сооружений I и II классов уточняются путем установления корреляционных зависимостей между результатами зондирования и полевых и лабораторных ис-

* Кварцевые и кварцево-полевошпатовые пески со сцеплением $0,1 \text{ кг/см}^2$ и глинистые грунты с органическими примесями менее 10%.

следований для каждого конкретного участка. Показатели свойств грунтов во всех случаях определяются на основе обобщенных показателей зондирования.

Рассматривая консистенцию грунта как физическую характеристику степени подвижности грунтовых частиц, легко представить, что она должна играть одну из первостепенных ролей в процессе погружения зонда.

В работе [14] приводится таблица взаимосвязи статического сопротивления зондированию с консистенцией глинистого грунта, характеризующая авторами как весьма ориентировочная (табл. 12).

Таблица 12

Удельное статическое сопротивление, кг/см ²	Консистенция глинистого грунта
>100	Твердая
50—100	Полутвердая
20—50	Тугопластичная
10—20	Мягкопластичная
<10	Текучепластичная

Таблица 13

Число ударов на 30 см погружения грунтоноса	Консистенция
<2	Очень мягкая
2—4	Мягкая
4—8	Средняя
8—15	Плотная
15—30	Очень плотная
>30	Твердая

По мере получения новых данных табл. 12 должна быть уточнена.

Во многих странах накоплен значительный опыт динамического зондирования пробоотборником ДЗП и имеются данные по оценке относительной плотности песков и консистенции глин по результатам этих испытаний.

Табл. 13 приводят многие авторы, хотя и отмечают ее ненадежность.

Из изложенного выше следует, что вопрос о связи сопротивления зондированию с консистенцией грунтов исследован не достаточно. Плотность сложения песков в естественном залегании ориентировочно может быть определена по данным ДЗП на основании табл. 14.

Таблица 14

Наименование грунтов	$P_{пр}$, уд/дм	Плотность сложения
Пески крупные	>10	Плотные
Средней крупности и	3—10	Средней плотности
мелкие	<3	Рыхлые

Примечание. $P_{пр}$ — количество ударов на 10 см погружения грунтоноса.

Достаточно уверенно плотность песчаных грунтов оценивается по результатам ДЗК (табл. 15*) и статического зондирования (табл. 16*).

Таблица 15*

Вид песка	Состав и состояние песков	Пески					
		рыхлые		средней плотности		плотные	
		$N_{пр}$	$P_{дпр}$	$N_{пр}$	$P_{дпр}$	$N_{пр}$	$P_{дпр}$
Природного сложения	Крупные и средней крупности, любой влажности	< 5	< 35	5—18	35—125	> 18	> 125
	Мелкие маловлажные	< 4	< 30	4—15	30—110	> 15	> 110
	Пылеватые маловлажные и мелкие водонасыщенные	< 3	< 20	3—12	20—85	> 12	> 85
Свеженамытый	Мелкие и средней крупности, маловлажные	< 5	< 35	5—15	35—110	> 15	> 110
	То же, водонасыщенные	< 3	< 20	3—12	20—85	> 12	> 85

Таблица 16*

Состав и состояние песков	Удельное статическое сопротивление q , кг/см ² , для песков		
	рыхлых	средней плотности	плотных
Крупные и средней крупности	< 50	50—150	> 150
Мелкие	< 40	40—120	> 120
Пылеватые маловлажные	< 30	30—100	> 100
Пылеватые водонасыщенные	< 20	20—70	> 70

Возможность количественной оценки плотности песков изучалась рядом исследователей.

В. А. Дуранте предлагает следующие уравнения, связывающие объемный вес скелета средне- и мелкозернистых песков с показателем ДЗК:

для песков ненарушенного сложения

$$\gamma_{ск} = 0,0086N + 1,495; \quad (30)$$

для насыпных песков

$$\gamma_{ск} = 0,0194N + 1,501. \quad (31)$$

Многими исследователями [2, 3, 5, 14] были получены уравнения взаимосвязи сопротивления зондированию с показателями пористости, объемного веса, влажности, пластичности различных грунтов, которые требуют уточнения и пока не получили производственного применения.

Значительный практический интерес представляет оценка вероятности разжижения водонасыщенных песков при динамических нагрузках — динамическая устойчивость их, которая может быть определена по результатам ДЗК с помощью табл. 17*.

Вероятность разжижения	Показатели зондирования			
	средние		минимальные	
	$N_{пр}$ уд/дм	$R_{дпр}$ кг/см ²	$N_{пр}$ уд/дм	$R_{дпр}$ кг/см ²
Большая (пески рыхлые, сцепление отсутствует)	< 3	< 20	< 1	< 7
Средняя (пески рыхлые и средней плотности, сцепление слабое)	3—5	20—35	1—2	7—14
Малая (пески структурированные, средней плотности)	5—7	35—50	2—3	14—20
Отсутствует (пески плотные и средней плотности с хорошо развитым сцеплением упрочнения)	> 7	> 50	> 3	> 20

В зависимости от требуемого уровня достоверности прогноза оценка ведется по средним или минимальным значениям. На существование корреляционной зависимости между сопротивлением зондированию и модулем деформации грунта E указывают многие исследователи.

На основании данных испытаний статическим зондированием и штампами песков различной плотности ($q=40 \div 275$ кг/см²; $E=100 \div 1000$ кг/см²) институт Фундаментпроект рекомендует зависимость $E=2,5 q$, а для ориентировочной оценки деформативности моренных суглинков $E=100+5q$.

Взаимосвязь вида $E=KN$ (или R_d, q, P) действительно должна проявляться, однако коэффициент K является функцией не только состава, но и состояния и свойств породы. Поэтому выводы различных специалистов бывают разноречивы.

Ориентировочные значения модуля деформации песчаных и глинистых грунтов согласно действующим «Указаниям» могут быть определены так:

при статическом зондировании песков

$$E = 3q; \quad (32)$$

то же, глин и суглинков

$$E = 7q; \quad (33)$$

при ДЗП песков средней крупности и плотности

$$E = 350 \lg \Pi_{пр}; \quad (34)$$

то же, плотных песков средней крупности

$$E = 500 \lg \Pi_{пр} \quad (35)$$

при ДЗК песчаных грунтов до глубины 6 м — по табл. 18*, глинистых — по табл. 19*.

Попытки определения прочностных показателей (φ и C) аналитическим путем с привлечением данных зондирования пока не имеют надежных результатов. В институте Фундаментпроект получены корреляционные зависимости между углом внутрен-

Таблица 18*

$N_{\text{пр}}$, уд/дм	$P_{\text{дпр}}$, кг/см ²	Модуль деформации E , кг/см ² , песков		
		пылеватых сухих	мелких	крупных и средней крупности
3	20	80	130	160—200
5	35	130	190	210—260
10	70	220	290	340—390
15	110	280	350	440—490
20	140	320	400	500—550
25	175	350	450	550—600

Таблица 19*

Консистенция суглинков и глин	Модуль деформации E , кг/см ²	
	по $N_{\text{пр}}$, уд/дм	по $P_{\text{дпр}}$, кг/см ²
Твердая и тугопластичная	$(40 \div 50)N_{\text{пр}}$	$(6 \div 7)P_{\text{дпр}}$
Мягкопластичная	$(30 \div 40)N_{\text{пр}}$	$(4 \div 6)P_{\text{дпр}}$

него трения песка и числом ударов на 10 см погружения зонда. Аналогичные выводы были сделаны в США и Чехословакии. Наиболее достоверные значения φ для песков по данным статического зондирования определяются по методу В. А. Ярошенко [17]. Во многих изданиях приводятся табулированные значения φ в зависимости от величины q и бытового давления $\gamma_0 h$ (по В. А. Ярошенко). Известно, что угол внутреннего трения в песках быстро уменьшается при изменении давления от 0 до 1,0 кг/см², оставаясь далее относительно постоянным. Это положение дало возможность рекомендовать для практического пользования значения φ при бытовом давлении $\geq 1,0$ кг/см² (табл. 20*).

Таблица 20*

Удельное статическое сопротивление q , кг/см ²	10	20	40	70	120	200	300
Угол внутреннего трения песков φ° при глубине зондирования:							
а) до 2 м;	28	30	32	34	36	38	40
б) 5 м и более	26	28	30	32	34	36	38

Примечание: В интервале 2—5 м значение φ° принимается по интерполяции.

Обобщение и анализ большого фактического материала позволили составить таблицы для ориентировочного определения φ

песков по результатам динамического зондирования конусом (табл. 21 *) и пробоотборником (табл. 22).

Таблица 21*

Показатели ДЗК		Угол внутреннего трения φ° песков		
$N_{пр}$, уд/дж	$R_{Дпр}$, кг/см ²	пылеватых	мелких	средней крупности и крупных
3	20	26	28	30
5	35	28	30	33
10	70	30	33	36
15	110	32	35	38
20	140	34	37	40
25	175	35	38	41

Таблица 22

Показатель ДЗП $P_{пр}$, уд/дж	3	5	7	10	13
φ° для песков крупных, средней крупности и мелких	29	31	33	36	39

Возможность установления величины удельного сцепления C по результатам зондирования изучена очень слабо. Известны решения Р. Бюиссмана, П. Бартенсена, О. М. Резникова и других исследователей. Все они могут быть применены только для приближенной оценки прочности отдельных видов грунтов.

Величина сцепления может быть определена путем проведения параллельных испытаний другим методом, например, совмещением зондирования и вращательного среза. В этом случае вращательный срез устанавливает общее сопротивление сдвигу, а зондирование — угол внутреннего трения φ .

Во многих странах допускаемые напряжения на грунт назначаются по данным зондирования. Стандарты для выбора приводятся в некоторых работах [2, 3]. В случаях, соответствующих п. 5.28 и табл. 12 СНиП II-Б. 1—62, нормативное давление на грунт R^H , кг/см² устанавливается:

а) для песков — по табл. 14 СНиП II-Б. 1—62 соответственно плотности сложения, определенной по результатам ДЗК или СЗ (табл. 15* и 16*);

б) для глин и суглинков — по данным ДЗК (табл. 23*) и СЗ (табл. 24*).

Результаты комплекса исследований, проводимых на опорных участках, сопоставляются между собою с целью выявления взаимосвязи между отдельными показателями, которая выражается графическим или аналитическим путем. В последнем случае задача сводится к выравниванию эмпирической выборки в линейную или криволинейную функцию.

Таблица 23*

Показатель ДЗК N , уд/дм	<2	2—5	5—10	10—20	>20
Удельное динамическое сопротивление $R_{дпр}$, кг/см ²	<10	10	30	50	70
Нормативное давление R^H , кг/см ²	<0,5	1,0	2,5	4,0	5,5

Таблица 24*

Удельное статическое сопротивление q , кг/см ²	10	20	30	40	50	60
Нормативное давление R^H , кг/см ²	1,2	2,2	3,0	4,0	5,0	5,8

Пример. На трех опорных участках проведено динамическое зондирование и отобрано по 10 проб из однородного по визуальному определению слоя среднезернистого песка. Однако показатели ДЗ по участкам различны. Систематизированные значения $\gamma_{ск}$ и N в точках отбора даны в табл. 25. Требуется получить корреляционное уравнение взаимосвязи этих показателей.

Таблица 25

$\gamma_{ск}$, г/см ³	N , уд/дм	N^2	$\gamma_{ск}N$	$\gamma_{ск}$, г/см ³	N , уд/дм	N^2	$\gamma_{ск}N$
1,530	4	16	6,12	1,608	10	100	16,08
1,538	5	25	7,69	1,620	11	121	17,81
1,542	5	25	7,71	1,606	11	121	17,67
1,546	5	25	7,73	1,614	11	121	17,76
1,554	6	36	9,32	1,620	11	121	17,81
1,664	6	36	9,38	1,636	14	196	22,90
1,556	7	49	10,89	1,646	14	196	23,04
1,560	7	49	10,92	1,652	14	196	23,63
1,566	7	49	10,96	1,658	14	196	23,21
1,567	7	49	10,97	1,656	15	225	24,84
1,588	9	81	14,20	1,660	15	225	24,90
1,592	9	81	14,33	1,664	15	225	24,96
1,600	9	81	14,40	1,670	15	225	25,05
1,590	10	100	15,90	1,670	16	256	26,72
1,604	10	100	16,04	1,678	16	256	26,85
			Σ	48,14	308	3582	499,88

Учитывая описанный выше опыт, аппроксимируем данную совокупность линейной функцией вида

$$y = ax + b, \text{ т. е. } \gamma_{ск} = aN + b.$$

Для удобства вычислений дополним табл. 25 необходимыми градами N^2 и $\gamma_{ск}N$.

Параметры уравнения:

$$a = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{30 \cdot 499,88 - 308 \cdot 48,14}{30 \cdot 3582 - 308^2} = 0,013;$$

$$b = \frac{\sum x^2 \sum y - \sum x \sum xy}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} = \frac{3582 \cdot 48,14 - 308 \cdot 499,88}{30 \cdot 3582 - 308^2} = 1,46;$$

$$\gamma_{\text{ск}} = 0,013N + 1,46.$$

Линейный коэффициент корреляции равен

$$R = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2] [n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} =$$
$$= \frac{30 \cdot 499,88 - 308 \cdot 48,14}{\sqrt{(30 \cdot 3582 - 308^2)(30 \cdot 77,3 - 48,14^2)}} \approx 0,96$$

при средней ошибке

$$\eta = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n}} = \frac{1 - 0,96^2}{\sqrt{30}} = 0,014.$$

По методу Н. В. Коломенского связь оценивается как очень тесная.

Расчеты, связанные с обработкой результатов зондировочных испытаний, представляют собою достаточно трудоемкую операцию, поэтому при значительных объемах целесообразно производить их с помощью ЭВМ.

Программы для ЭВМ должны быть полными и гибкими, т. е. включать полную обработку всего числового комплекса с выдачей по необходимости различных наборов результатов.

Программа составляется в вычислительном центре при обязательном участии испытателя-интерпретатора. Если число испытаний не велико, то расчеты удобно выполнять вручную, используя электро-механические вычислительные машины.

§ 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ЗОНДИРОВАНИЕМ

При широком применении свайных фундаментов и значительной сложности общепринятых экспериментальных приемов определения необходимых расчетных показателей (статические и динамические испытания опытных свай) давно возник вопрос о нахождении более экономичного и совершенного способа оценки несущей способности свай. По мнению ряда советских и зарубежных ученых наиболее надежным и приемлемым для этих целей способом является статическое зондирование, которое может рассматриваться как непрерывное испытание модели сваи. Возможность экстраполяции результатов зондирования на сваи большего диаметра обуславливается подтвержденным

многими исследователями свойством инвариантности удельного статического сопротивления.

Согласно СНиП II-Б. 5—67 * расчетное сопротивление забивных свай по данным статического зондирования определяется выражением

$$P = Km \left(0,5qF + Q \frac{U_c}{U_3} \right) \tau, \quad (36)$$

где K — коэффициент однородности грунта, принимаемый равным 0,7;
 m — коэффициент условий работы, принимаемый равным 1;
 q — среднее значение удельного статического сопротивления зондированию в t/m^2 на участке, границы которого расположены на $1d$ выше и на $4d$ ниже острия сваи (здесь d — диаметр круглого или сторона квадратного сечения сваи в m);
 F — площадь поперечного сечения сваи, m^2 ;
 Q — сопротивление по боковой поверхности зонда в t на уровне острия сваи;
 U_c, U_3 — периметр поперечного сечения сваи и зонда соответственно, в m .

Табулированные решения по формуле (36) приводятся в главе III.

НИИПромстроем Минпромстроя СССР и рядом других организаций рекомендуется более дифференцированный подход к установлению несущей способности свай P :

$$P = Km p_n, \quad (37)$$

где m — коэффициент условий работы, который определяется по данным испытаний пробных свай статической нагрузкой, или принимается равным 0,8 при отсутствии последних;

K — коэффициент однородности грунта $K=1-v$;

p_n — нормативное сопротивление.

Нормативное сопротивление равно среднему арифметическому значению всех сопротивлений p_i по данному кусту зондирования.

В случае применения зонда голландского типа (установка С-979) величина p_i равна

$$p_i = \lambda_1 q_i F + \lambda_2 f_i U_c h, \quad (38)$$

где F и U_c — то же, что в формуле (36);

h — глубина забивки сваи;

q_i — среднее удельное сопротивление грунта в i -й точке в интервале глубины от $1d$ выше до $4d$ ниже отметки острия сваи;

λ_1 и λ_2 — переходные коэффициенты, значения которых принимаются в зависимости от q_i и f_i .

При $q_i \leq 250 \text{ т/м}^2$ λ_1 равно 0,75 и далее соответственно при 500 — 0,6; 750 — 0,5; 1000 — 0,4; 1500 — 0,3 и при $q_i \geq 2000 \text{ т/м}^2$ λ_1 равно 0,25.

При $f_i \leq 2 \text{ т/м}^2$ λ_2 составит 1,5 и далее соответственно при 4 — 1; 6 — 0,6 при $f_i \geq 8 \text{ т/м}^2$ λ_2 равно 0,4.

Удельное сопротивление по боковой поверхности зонда в i -й точке f_i равно

$$f_i = \frac{Q}{U_3 l}, \quad (39)$$

где Q — общее сопротивление по боковой поверхности, т;

U_3 — периметр сечения зонда, м;

l — глубина расположения острия сваи в выбранном слое, м.

Формирование сил сопротивления грунта под конусом и по боковой поверхности зонда и сваи происходит под воздействием ряда разнообразных факторов: технологического, геометрического и геологического характера. Дифференцированный учет последних весьма затруднен и сводится к введению коэффициентов запаса.

Исследования института БашНИИстрой [4, 6] позволили разработать и рекомендовать методику оценки несущей способности свай по данным статического зондирования со стабилизацией, исключая влияние некоторых факторов, прежде всего скорости на сопротивление грунта в состоянии предельного равновесия.

При этом способе зондирования на определенных глубинах (через 0,5—1,0 м) измеряется сопротивление грунта при неподвижном зонде. Затем строится график изменения предельных значений по глубине*, который используется как нормативный при дальнейших расчетах. Несущая способность свай определяется аналогично изложенному выше с использованием формулы (37).

Сопротивление сваи p_i в i -й точке вычисляется по формуле

$$p_i = 0,5q_i F + U_c \sum \lambda_j f_j l_j, \quad (40)$$

где f_j — удельное сопротивление по боковой поверхности зонда, т/м^2 , осредненное по i -й скважине в пределах j -го слоя толщиной l_j ;

λ_j — поправочный коэффициент, принимаемый по таблице приложения VIII.

Расчет винтовых свай ведется согласно положениям п. 6.5 СНиП II-Б. 5—67*. В этом случае по результатам статического зондирования вычисляется нормативное сопротивление грунта

$$R^n = \beta' q, \quad (41)$$

* Построение аналогично графику $q=f(H)$.

где q — среднее удельное сопротивление в зоне, равной диаметру лопастей винтовой сваи;

β' — коэффициент, принимаемый по таблице п. 6.5 СНиП II-Б. 5—67*.

§ 7. КОНСТРУКЦИИ ЗОНДИРОВОЧНЫХ УСТАНОВОК И ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ

Установки для динамического зондирования. Наиболее простыми по конструктивному решению являются легкие забивные зонды, которые обычно состоят из штанги $\varnothing 42$ или 50 мм с наконечником и свободно скользящего по ней груза. На штанге укреплено опорное кольцо, по которому наносится удар. Подъем и сбрасывание груза производится вручную. При этом целесообразно ставить верхний ограничитель, обеспечивающий постоянство высоты сбрасывания. Вес молота и высота подъема должны согласовываться со средними возможностями человека. Например, ручной зонд Физделя (СССР) имеет высоту сбрасывания $1,0$ м, вес молота — $9,0$ кг, зонд Р. Хейфели (Швейцария) имеет высоту подъема 25 см, вес молота — 30 кг. Ручные зонды имеют ряд недостатков: применение ручного труда, малая глубина зондирования, малая производительность, но они незаменимы при исследованиях малых акваторий, болот, труднодоступных участков и т. п.

Широко применяется механизированная установка УБП-15 конструкции Гидропроекта* (модернизированный вариант УБП-15м). Установка предназначена для динамического зондирования конусом или пробоотборником и для ударно-канатного бурения на глубину до 20 м. На одноосном прицепе смонтирована мачта складного типа высотой $5,6$ м, планетарная лебедка и двигатель УД-2. Зондировочное оборудование стандартного типа. Навесное устройство (собственно молот) представляет собой направляющую штангу $\varnothing 60$ мм, по которой свободно ходит ударная баба. На нижнем конце ее находится наковальня с пальцем для соединения с оголовком зондировочной штанги, на верхнем — каретка, удерживающая молот и штангу в вертикальном положении и перемещающаяся по двум трубчатым направляющим ползкам мачты. Ударная баба поднимается с помощью клещевого захвата, который разжимается автоматически на установленной высоте. Глубина зондирования фиксируется по мерной рейке на мачте. Включают и выключают лебедку вручную, что при частоте 10 — 20 уд/мин становится чрезвычайно утомительным.

* Выпускается Угличским экспериментальным ремонтно-механическим заводом Гидропроекта.

В институте Киевгипротранс разработаны, изготовлены и внедрены установки АДЗ-2т-25; АДЗ-1с-15 и АДЗ-3л-8, в которых подъем и сбрасывание молота полностью автоматизированы [9].

АДЗ-2т-25 — тяжелая, а АДЗ-1с-15 — средняя зондировочные установки, смонтированные на буровых станках БУКС-ЛГТ. Автоматизация обеспечивается за счет электрической схемы, питаемой от генератора. Дойдя до нужной отметки, захват освобождает молот и одновременно размыкает цепь *генератор—переключател*ь — *магнитная муфта*. Магнитная муфта соединена со сцеплением лебедки, и захват опускается на молот, захватывает его и вновь замыкает цепь. Установки снабжены электрическими счетчиками ударов.

АДЗ-3л-8 — переносная установка легкого типа с общим весом 50 кг. Бензиновый двигатель «Дружба-60» мощностью 3 л. с. приводит в движение непрерывную роликовую цепь, на которой через определенные промежутки укреплены пальцы подъема. Подхваченный пальцем молот поднимается до упора, автоматически сбрасывается на наковальню и тут же подхватывается следующим пальцем. В этих установках ручной труд применяется лишь при наращивании штанг.

Установки с автоматической регистрацией числа ударов и глубины погружения зонда разработаны в институтах НИИоснований и «Энергосетьпроект».

При проведении изысканий на небольших участках целесообразно пользоваться навесным зондировочным оборудованием и приставками к серийным буровым станкам УГБ-50А, БУЛИЗ-15 и др., расширив, таким образом, диапазон применимости последних.

Работы по созданию подобных приставок успешно ведет отдел инженерно-геологических изысканий ПНИИИСа.

Установки для статического зондирования обычно более сложны по конструктивному решению, так как здесь возникает необходимость в создании значительных нагрузок и восприятию реактивных сил сопротивления грунта. Известно большое количество моделей, но мы опишем только те, которые признаны наиболее удачными и рекомендуются к применению в настоящее время.

В системе Фундаментпроекта и других организациях широко используется установка С-979, ранее имевшая индексы УЗК-2 и УЗК-3.

Зонд установки С-979 состоит из защитной трубы $\varnothing 36$ мм и внутренней штанги $\varnothing 19$ мм с коническим наконечником и собирается из отдельных звеньев длиной 1,0 м на резьбовых соединениях. Вдавливание и извлечение осуществляется с помощью гидравлического домкрата двойного действия грузоподъемностью 10 т. Усилие от штока домкрата передается зонду через измерительную головку с пружинным динамометром ДОСМ-5,

свободно перемещающуюся по двум трубчатым направляющим стойкам. Установка смонтирована на опорной раме, которая в транспортном положении трансформируется в одноосный автомобильный прицеп. В комплект установки входит насосная станция типа Н-401 и восемь анкерных свай. Общее сопротивление грунта внедрению зонда измеряется манометром. Сопротивление под конусом передается от наконечника внутренним стержнем к измерительной головке и фиксируется динамометром ДОСМ-5.

В точке зондирования установка закрепляется с помощью четырех анкерных свай, которые завинчиваются вручную на глубину 1,0—1,2 м. Выводят установку в вертикальное положение регулировочными винтами и контролируют отвесом в двух плоскостях. Для предотвращения перекоса штанг в грунт на глубину 0,4—0,5 м вдавливаются трубчатый кондуктор.

Более совершенной и удобной в эксплуатации является самоходная зондировочная установка С-832, разработанная в институте БашНИИстрой. Базовыми автомобилями могут служить ГАЗ-63 или ЗИЛ-157. В установке применена дистанционная схема получения информации с помощью призабойных датчиков и электронной измерительно-регистрирующей аппаратуры. Обеспечивается раздельное измерение сопротивления под конусом и по боковой поверхности.

Погружение зонда осуществляется 10-тонным гидравлическим домкратом с полым штоком, через который пропускается колонна штанг $\varnothing 34$ мм. При вдавливании штанга автоматически зажимается фиксирующим устройством, установленным на конце штока. При обратном ходе фиксирующее устройство свободно скользит по штанге. Реактивное усилие воспринимается двумя анкерными сваями, которые завинчиваются в грунт с помощью механизма завинчивания, работающего от гидравлического устройства. Установка позволяет производить зондирование непрерывно и со стабилизацией.

При зондировании со стабилизацией на заданной отметке отключается маслоподающий насос и погружение зонда продолжается под воздействием внутреннего давления в гидросистеме, прекращаясь в момент достижения равновесия. Для поддержания внутреннего давления в гидросистему введена дополнительная емкость с воздушной подушкой — демпфер. Результаты записываются на диаграммные ленты самопишущих приборов типа СМ1—03. Все операции по зондированию и анкеровке установки выполняются операторами с пульта управления. Установка изготавливается Московским заводом строительных машин.

Как отмечалось выше, весьма полезными оказываются приставки к серийным буровым станкам. ПНИИИС разработаны и успешно применяются приставки к установке УГБ-50А(М), предназначенные для испытаний грунтов статическим зондированием, совмещенным с вращательным срезом.

Приставка представляет собой навесное оборудование, состоящее из двух направляющих труб (с кронштейнами для крепления к станку), по которым перемещается подвижная траверса, приводимая в движение винтовым домкратом с приводом от вращателя станка. Лобовое и общее сопротивление зондированию измеряется с помощью двух гидродинамометров. Приставки изготовляют рязанские ремонтно-механические мастерские ПНИИСа.

Краткие технические характеристики установок даны в приложении IX.

При производстве зондировочных испытаний должны строго выполняться требования «Руководства по технике безопасности на инженерно-изыскательских работах для строительства» (М. Стройиздат, 1971) и «Правил безопасности при геологоразведочных работах» (М., «Недра», 1972). Основные требования, предъявляемые при зондировочных работах, следующие:

транспортирование установки к месту работы и с точки на точку допускается только при надежном закреплении всех механизмов и узлов. Зонды должны быть уложены в ящики и зажаты фиксаторами. Переезд с навешенным молотом не допускается;

перед монтажом установки на точке необходимо проверить исправность всех механизмов, соединений, тросов, кабелей, электропроводки, линий и переключателей, находящихся под напряжением;

при использовании бензоагрегата последний устанавливается на расстоянии 10—20 м от установки. Электрические генераторы и линии заземляются;

при монтаже и демонтаже установки все сотрудники, кроме бурового мастера и рабочего, должны быть удалены на безопасное расстояние;

перед запуском двигателей необходимо убедиться в том, что все рычаги и тумблеры находятся в положении «выключено»;

все резьбовые соединения должны затягиваться до отказа;

при подъеме молота для навески, а также при погрузке и разгрузке его необходимо следить за положением бабы и принять меры против ее падения;

категорически запрещается производить наращивание штанг под навешенным молотом. Молот должен быть опущен на надежный упор;

запрещается направлять и поддерживать штангу руками в процессе зондирования. При забивке первой штанги она удерживается в вертикальном положении с помощью клещей;

механизмы, гидравлические и электрические узлы должны быть снабжены хорошо видимыми табличками с указанием допустимых давлений и нагрузок. Необходимо строго следить за тем, чтобы фактические нагрузки не превышали допустимых.

ТАБЛИЦЫ ГОТОВЫХ РЕШЕНИЙ ПО ДАННЫМ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ СТАТИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ И СТАТИЧЕСКИМ ЗОНДИРОВАНИЕМ

§ 1. УКАЗАНИЯ ПО ПОЛЬЗОВАНИЮ ТАБЛИЦАМИ

В книгу включены таблицы значений модуля общей деформации грунтов по данным полевых испытаний статическими нагрузками; поправки к осадкам штампа от сжатия труб при испытании грунтов в буровых скважинах и таблицы значений расчетного сопротивления свай по данным статического зондирования грунтов.

Таблицы значений модуля общей деформации составлены для всех разновидностей нескальных грунтов (крупнообломочные, пески, супеси, суглинки, глины) при испытании их в горных выработках, например шурфах, котлованах, круглыми штампами площадью 5000 см^2 .

Значения модуля общей деформации E_0 вычислены по формуле ГОСТ 12374—66 в зависимости от практически возможных величин ΔP и ΔS .

Искомые значения E_0 в кг/см^2 находятся на пересечении линий ΔP и ΔS (табл. 26—33).

При величинах ΔP и ΔS , отличных от принятых в таблицах, значения E_0 определяются интерполяцией.

Определенные по таблицам значения модуля общей деформации E_0 в соответствии с ГОСТ 12374—66 округляются до десятков.

Пример 1. Определить модуль общей деформации суглинка по данным испытания его статической нагрузкой штампом площадью 5000 см^2 в шурфе на глубине 3 м от природного рельефа ($P_6 \approx 0,5 \text{ кг/см}^2$). На прямолинейном участке графика $S=f(P)$ в интервале давлений от P_6 до $P=3,0 \text{ кг/см}^2$ приращение осадки ΔS составляет 6,7 мм.

Решение. Вычисляем $P-P_6=3,0-0,5=2,5 \text{ кг/см}^2$. Затем по табл. 30 при $\mu=0,35$ на пересечении линий $\Delta P=2,5 \text{ кг/см}^2$ и $\Delta S=6,6$ и $7,0 \text{ мм}$ находим значения 212 (для $\Delta S=6,6 \text{ мм}$) и 200 кг/см^2 (для $\Delta S=7,0 \text{ мм}$), определяем интерполяцией искомую величину модуля общей деформации $E_0=209 \text{ кг/см}^2$, которую округляем до 210 кг/см^2 .

Таблицы поправок к осадкам штампа от сжатия труб, передающих нагрузку на штамп при испытании грунтов в буровых скважинах, составлены для труб диаметром 219/204, 168/154.

Поправка Δ в см вычислена по формуле

$$\Delta = \frac{PL}{\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)E}$$

В табл. 34, 35 помещены значения поправок Δ для колонн труб длиной $L=11 \div 20$ м и полных нагрузок $P=150 \div 6000$ кг/см².

Поправка к осадкам от сжатия труб Δ в мм находится на пересечении линий P и L .

Пример 2. Найти поправку Δ от сжатия труб $\varnothing 168/154$ мм при испытании грунтов в буровой скважине на глубине 16 м (длина колонны труб $L=17$ м) и полной нагрузке на платформу $P=3150$ кг.

Решение. По табл. 34 на пересечении линий $P=3150$ кг и $L=17$ м находим поправку $\Delta=0,76$ мм.

Значения расчетного сопротивления свай P в т по данным статического зондирования (табл. 36—44) в соответствии со СНиП II-Б. 5—67* вычислены по формуле

$$P = km \left(0,5qF + Q_T \frac{U_c}{U_3} \right),$$

где k, m — коэффициенты однородности грунта и условий работы, принимаемые равными соответственно 0,7 и 1;

q — среднее значение удельного сопротивления грунта прониканию наконечника зонда в т/м² на участке, расположенном в пределах одного d выше и $4d$ ниже отметки острия проектируемой сваи (d — диаметр круглого, или сторона квадратного или большая сторона прямоугольного сечения сваи в м);

F — площадь поперечного сечения сваи в м²;

Q — сопротивление грунта по боковой поверхности зонда в т на уровне острия сваи, определяемое по графику зондирования;

U_c — периметр поперечного сечения сваи в м;

U_3 — периметр поперечного сечения зонда в м.

Символы в формуле приняты по СНиП II-Б. 5—67* и «Руководству по проектированию свайных фундаментов» (НИИОСП Госстроя СССР, 1971).

Таблицы значений расчетного сопротивления составлены для железобетонных сплошных свай квадратного сечения размером 200×200 , 250×250 , 300×300 , 350×350 и 400×400 мм; прямоугольного сечения размером 300×200 и 350×250 мм и квадратных свай сечением 250×250 мм с круглой плоскостью $\varnothing 110$ и 300×300 мм с полостью $\varnothing 160$ мм.

Таблицами можно пользоваться при наличии данных статического зондирования грунтов стандартным зондом $\varnothing 36$ мм.

Значения расчетного сопротивления свай P в т находятся на пересечении линий q и Q_T . При значениях q и Q_T , отличных от

§ 2. ТАБЛИЦЫ ЗНАЧЕНИЙ МОДУЛЯ ОБЩЕЙ ДЕФОРМАЦИИ ПО ДАННЫМ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГРУНТОВ СТАТИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ (ПЛОЩАДЬ ШТАМПА — 5000 см²)

Таблица 26

$$\Delta S = 2,1 \div 2,9 \text{ мм}$$

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см ² при приращении удельного давления ΔP в кг/см ²												
		2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0
0,27	2,1	564	635	705	776	846	917	987	1058	1128	1198	1269	1339	1410
	2,3	515	580	643	780	773	837	901	966	1031	1094	1159	1223	1287
	2,5	474	533	593	652	711	770	830	889	948	1008	1067	1126	1185
	2,7	439	494	549	603	658	713	768	822	877	933	987	1042	1097
	2,9	409	460	511	562	613	664	715	766	817	868	919	970	1022
0,30	2,1	553	622	691	761	830	899	968	1037	1106	1175	1244	1313	1382
	2,3	505	568	631	694	758	821	884	947	1010	1073	1136	1199	1262
	2,5	465	523	581	639	697	755	813	872	930	988	1045	1103	1162
	2,7	430	484	538	591	645	699	753	806	860	914	968	1021	1075
	2,9	401	451	501	551	601	651	701	751	801	851	901	951	1000
0,35	2,1	534	600	667	734	801	867	934	1001	1068	1134	1201	1268	1335
	2,3	488	548	609	670	731	792	853	914	975	1036	1097	1158	1219
	2,5	449	505	561	617	673	729	785	841	897	953	1010	1066	1122
	2,7	415	467	519	571	623	675	727	778	830	882	934	986	1038
	2,9	387	435	483	531	578	626	676	725	773	821	870	918	967
0,42	2,1	500	563	626	689	751	814	877	939	1002	1065	1127	1190	1253
	2,3	458	515	571	629	686	743	800	858	915	972	1030	1087	1144
	2,5	421	474	526	579	631	684	737	789	842	894	947	1000	1053
	2,7	390	438	487	536	585	633	682	730	779	828	877	925	974
	2,9	363	408	454	499	544	589	635	680	726	771	816	861	907

$$\Delta S = 3,1 \div 3,9 \text{ мм}$$

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см ² при приращении удельного давления ΔP в кг/см ²												
		2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0
0,27	3,1	382	430	478	526	573	621	669	716	764	812	860	908	956
	3,3	359	404	449	494	539	584	628	673	718	763	808	853	898
	3,5	339	381	423	466	508	550	593	635	677	719	761	804	846
	3,7	320	360	400	440	480	520	560	600	640	680	720	760	801
	3,9	304	342	380	418	456	494	532	570	607	645	683	721	760
0,30	3,1	375	422	469	515	562	609	656	702	749	796	843	890	937
	3,3	352	396	440	484	528	572	616	660	704	748	792	836	880
	3,5	332	373	415	456	498	539	581	622	664	705	747	788	830
	3,7	314	353	393	432	471	510	550	589	628	667	706	745	785
	3,9	298	335	372	410	447	484	521	559	596	633	670	707	745
0,35	3,1	362	407	452	497	543	588	633	678	723	768	814	859	904
	3,3	340	382	426	467	510	552	594	637	680	722	764	807	849
	3,5	320	360	400	441	481	521	561	600	640	681	720	761	801
	3,7	303	341	379	417	455	492	530	568	606	644	682	719	757
	3,9	288	324	359	395	431	467	503	539	575	611	646	682	719
0,42	3,1	339	382	424	467	509	551	594	636	679	721	763	806	848
	3,3	319	359	399	438	478	518	558	598	638	677	717	757	797
	3,5	301	338	376	413	451	489	526	564	601	639	676	714	751
	3,7	284	320	356	391	427	462	498	533	569	604	640	675	711
	3,9	270	304	337	371	405	438	472	506	536	573	607	640	675

$$\Delta S = 4,1 \div 4,9 \text{ мм}$$

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см^2 при приращении удельного давления ΔP в кг/см^2												
		2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0
0,27	4,1	289	325	361	397	434	470	506	542	578	614	650	686	722
	4,3	276	310	344	379	413	448	482	517	551	586	620	654	689
	4,5	263	296	329	362	395	428	461	494	527	560	593	625	658
	4,7	252	284	315	347	378	410	441	473	504	536	567	598	630
	4,9	242	272	302	333	363	393	423	453	484	514	544	574	604
0,30	4,1	283	319	354	390	425	461	496	532	567	602	637	673	708
	4,3	270	304	338	372	405	439	473	507	540	574	608	641	675
	4,5	258	291	323	355	387	420	452	484	516	549	581	613	645
	4,7	247	278	309	340	371	402	433	464	494	525	556	587	618
	4,9	237	267	296	326	356	385	415	445	474	504	534	563	593
0,35	4,1	274	308	342	376	410	444	479	513	547	581	615	649	683
	4,3	261	293	326	359	391	424	456	489	522	554	586	619	652
	4,5	249	280	311	343	374	405	436	467	498	530	561	592	623
	4,7	239	268	298	328	358	388	418	447	477	507	537	566	596
	4,9	229	257	286	315	343	372	400	429	458	486	515	543	572
0,42	4,1	257	289	321	353	385	417	449	481	513	545	577	609	641
	4,3	245	275	306	337	367	398	428	459	489	520	550	581	611
	4,5	234	263	292	322	351	380	409	438	467	497	526	555	585
	4,7	224	252	280	308	336	364	392	420	448	476	504	531	559
	4,9	215	242	269	295	322	349	376	403	430	456	483	510	537

$\Delta S = 5,1 \div 5,9$ мм

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см ² при приращении удельного давления ΔP в кг/см ²												
		2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5	4,75	5,0
0,27	5,1	232	261	290	320	349	378	407	436	465	494	523	552	581
	5,3	224	252	279	307	335	363	391	419	447	475	503	531	559
	5,5	215	242	269	296	323	350	377	404	431	458	485	512	539
	5,7	208	234	260	286	311	338	364	390	416	442	468	494	520
	5,9	201	226	251	276	301	326	352	377	402	427	452	477	502
0,30	5,1	228	256	285	313	342	370	399	427	456	484	513	541	570
	5,3	219	247	274	301	329	356	384	411	438	466	493	521	548
	5,5	211	238	264	291	317	343	370	396	423	449	475	502	528
	5,7	204	229	255	280	306	331	357	382	408	433	459	484	510
	5,9	197	221	246	271	295	320	345	369	394	418	443	468	492
0,35	5,1	220	247	275	302	330	357	384	412	440	467	495	522	550
	5,3	212	238	264	291	317	344	370	397	423	450	476	503	529
	5,5	204	229	255	280	306	331	357	382	408	433	459	484	510
	5,7	197	221	246	271	295	320	344	369	393	418	443	467	492
	5,9	190	214	238	261	285	309	333	356	380	404	428	451	475
0,42	5,1	206	232	258	284	310	335	361	387	413	438	464	490	516
	5,3	199	223	248	273	298	323	347	372	397	422	447	472	496
	5,5	191	215	239	263	287	311	335	359	383	407	430	454	478
	5,7	185	208	231	254	277	300	323	346	369	392	415	438	462
	5,9	178	201	223	245	268	290	312	334	357	379	401	424	446

$$\Delta S = 6,2 + 7,8 \text{ мм}$$

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см^2 при приращении удельного давления ΔP в кг/см^2												
		1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5
0,27	6,2	143	167	191	215	239	263	287	311	335	358	382	406	430
	6,6	135	157	180	202	224	247	269	292	314	337	359	382	404
	7,0	127	148	169	190	212	233	254	275	296	317	339	360	381
	7,4	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
	7,8	114	133	152	171	190	209	228	247	266	285	304	323	342
0,30	6,2	141	164	187	211	234	258	281	305	328	351	375	398	422
	6,6	132	154	176	198	220	242	264	286	308	330	352	374	396
	7,0	124	145	166	187	207	228	249	270	291	311	332	353	373
	7,4	118	137	157	177	196	216	236	255	275	294	314	334	353
	7,8	112	130	149	168	186	205	223	242	261	279	298	317	335
0,35	6,2	136	158	181	204	226	249	271	294	317	339	362	384	407
	6,6	127	149	170	191	212	234	255	276	297	319	340	361	382
	7,0	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360
	7,4	114	133	152	170	189	208	227	246	265	284	303	322	341
	7,8	108	126	144	162	180	198	216	234	252	270	288	306	324
0,42	6,2	127	149	170	191	212	233	255	276	297	318	339	361	382
	6,6	120	140	159	179	199	219	239	259	279	299	319	339	359
	7,0	113	132	150	169	188	207	226	244	263	282	301	319	338
	7,4	107	124	142	160	178	196	213	231	249	267	284	302	320
	7,8	101	118	135	152	169	186	202	219	236	253	270	287	304

$$\Delta S = 8,2 \div 10,0 \text{ мм}$$

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см^2 при приращении удельного давления ΔP в кг/см^2												
		1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0	4,25	4,5
0,27	8,2	108	126	145	163	181	199	217	235	253	271	289	307	325
	9,0	98	115	132	148	165	181	198	214	230	247	263	280	296
	10,0	89	104	119	133	148	163	178	193	207	222	237	252	267
0,30	8,2	106	124	142	159	177	195	213	230	248	266	283	301	319
	9,0	97	113	129	145	161	177	194	210	226	242	258	174	291
	10,0	87	102	116	131	145	160	174	189	203	218	232	247	261
0,35	8,2	103	120	137	154	171	188	205	222	239	256	274	291	308
	9,0	93	109	125	140	156	171	187	203	218	234	249	265	280
	10,0	84	98	112	126	140	154	168	182	196	210	224	238	252
0,42	8,2	96	112	128	144	160	176	193	209	224	241	257	273	289
	9,0	88	102	117	132	146	161	175	190	205	219	234	249	263
	10,0	79	92	105	118	132	145	158	171	184	197	211	224	237

$$\Delta S = 11,0 \div 15,0 \text{ мм}$$

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см ² при приращении удельного давления ΔP в кг/см ²												
		1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5	3,75	4,0
0,27	11,0	54	67	81	94	108	121	135	148	162	175	189	202	215
	13,0	46	57	68	80	91	103	114	125	137	148	160	171	182
	15,0	39	49	59	69	79	89	99	109	119	128	138	148	158
0,30	11,0	53	66	79	93	106	119	132	145	158	172	185	198	211
	13,0	45	56	67	78	89	101	112	123	134	145	156	168	179
	15,0	39	48	58	68	77	87	97	106	116	126	136	145	155
0,35	11,0	51	64	76	89	102	115	127	140	153	166	178	191	204
	13,0	43	54	65	75	86	97	108	119	129	140	151	162	172
	15,0	37	47	56	65	75	84	93	103	112	122	131	140	150
0,42	11,0	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	167	179	191
	13,0	40	51	61	71	81	91	101	111	121	132	142	152	162
	15,0	35	44	53	61	70	79	88	96	106	114	123	132	140

$$\Delta S = 16,0 \div 20,0 \text{ мм}$$

Коэффициент Пуассона μ	Приращение осадки ΔS в мм	Модуль общей деформации E_0 в кг/см^2 при приращении удельного давления ΔP в кг/см^2										
		1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,5	2,75	3,0	3,25	3,5
0,30	16,0	36	45	54	64	73	82	91	100	109	118	127
	18,0	32	40	48	56	65	73	81	89	97	105	113
	20,0	29	36	44	51	58	65	73	80	87	94	102
0,35	16,0	35	44	53	61	70	79	88	96	105	114	123
	18,0	31	39	47	55	62	70	78	86	93	101	109
	20,0	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98
0,42	16,0	33	41	49	58	66	74	82	90	98	106	115
	18,0	29	37	44	51	58	66	73	80	88	95	102
	20,0	26	33	39	46	53	59	66	72	79	86	92

§ 3. ТАБЛИЦЫ ПОПРАВОК К ОСАДКАМ ОТ СЖАТИЯ ТРУБ ПРИ ИСПЫТАНИИ ГРУНТОВ СТАТИЧЕСКИМИ НАГРУЗКАМИ В БУРОВЫХ СКВАЖИНАХ

Таблица 34

Трубы диаметром 168/154 мм

Полная нагрузка на платформу P в кг	Поправка Δ в мм при длине труб L в м									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
150	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
300	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08
450	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13
600	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17
750	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
900	0,14	0,15	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,25

Полная нагрузка на платформу Р в кг	Поправка Δ в мм при длине труб L в м									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1050	0,16	0,18	0,19	0,21	0,22	0,24	0,25	0,27	0,28	0,30
1200	0,19	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34
1350	0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38
1500	0,23	0,25	0,28	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42
1650	0,26	0,28	0,30	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42	0,44	0,47
1800	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,51
1950	0,30	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44	0,47	0,50	0,52	0,55
2100	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,47	0,50	0,53	0,56	0,59
2250	0,35	0,38	0,41	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,64
2400	0,37	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,58	0,61	0,64	0,68
2550	0,40	0,43	0,47	0,50	0,54	0,58	0,61	0,65	0,68	0,72
2700	0,42	0,46	0,50	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69	0,72	0,76
2850	0,44	0,48	0,52	0,56	0,60	0,64	0,68	0,72	0,77	0,81
3000	0,47	0,51	0,55	0,59	0,64	0,68	0,72	0,76	0,81	0,85
3150	0,49	0,53	0,58	0,62	0,67	0,71	0,76	0,80	0,85	0,89
3300	0,51	0,56	0,61	0,65	0,70	0,75	0,79	0,84	0,89	0,93
3450	0,54	0,58	0,63	0,68	0,73	0,78	0,83	0,88	0,93	0,97
3600	0,56	0,61	0,66	0,71	0,76	0,81	0,86	0,92	0,97	1,02
3750	0,58	0,64	0,69	0,74	0,79	0,85	0,90	0,95	1,01	1,06
3900	0,61	0,66	0,72	0,77	0,83	0,88	0,94	0,99	1,05	1,10
4050	0,63	0,69	0,74	0,80	0,86	0,92	0,97	1,03	1,09	1,14
4200	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01	1,07	1,13	1,19
4350	0,68	0,74	0,80	0,86	0,92	0,98	1,04	1,11	1,17	1,23
4500	0,70	0,76	0,83	0,89	0,95	1,02	1,08	1,14	1,21	1,27
4650	0,72	0,79	0,85	0,92	0,99	1,05	1,12	1,18	1,25	1,31
4800	0,75	0,81	0,88	0,95	1,02	1,09	1,15	1,22	1,29	1,36
4950	0,77	0,84	0,91	0,98	1,05	1,12	1,19	1,26	1,33	1,40
5100	0,79	0,86	0,94	1,01	1,08	1,15	1,22	1,30	1,37	1,44
5250	0,82	0,89	0,96	1,04	1,11	1,19	1,26	1,34	1,41	1,48

Полная нагрузка на платформу P в кг	Поправка Δ в мм при длине труб L в м									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
5400	0,84	0,92	0,99	1,07	1,14	1,22	1,30	1,37	1,45	1,53
5550	0,86	0,94	1,02	1,10	1,18	1,25	1,33	1,41	1,49	1,57
5700	0,89	0,97	1,05	1,13	1,21	1,29	1,37	1,45	1,53	1,61
5850	0,91	0,99	1,07	1,16	1,24	1,32	1,41	1,49	1,57	1,65
6000	0,93	1,02	1,10	1,19	1,27	1,36	1,44	1,53	1,61	1,70

Таблица 35

Трубы диаметром 219/204 мм

Полная нагрузка на платформу P в кг	Поправка Δ в мм при длине труб L в м									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
150	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03
300	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06
450	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09
600	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,119	0,11	0,12
750	0,08	0,09	0,10	0,11	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15
900	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
1050	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21
1200	0,13	0,14	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24
1350	0,15	0,16	0,18	0,19	0,20	0,22	0,23	0,24	0,26	0,27
1500	0,17	0,18	0,20	0,21	0,23	0,24	0,26	0,27	0,29	0,30
1650	0,18	0,20	0,22	0,23	0,25	0,27	0,28	0,30	0,31	0,33
1800	0,20	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,34	0,36
1950	0,22	0,24	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39
2100	0,23	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42
2250	0,25	0,27	0,29	0,32	0,34	0,36	0,38	0,41	0,43	0,45
2400	0,27	0,29	0,31	0,34	0,36	0,39	0,41	0,43	0,46	0,48

Полная нагрузка на платформу P в кг	Поправка Δ в мм при длине труб L в м									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2550	0,28	0,31	0,33	0,36	0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,51
2700	0,30	0,33	0,35	0,38	0,41	0,43	0,46	0,49	0,52	0,54
2850	0,31	0,34	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,51	0,54	0,57
3000	0,33	0,36	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60
3150	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57	0,60	0,63
3300	0,36	0,40	0,43	0,46	0,50	0,53	0,56	0,60	0,63	0,66
3450	0,38	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55	0,59	0,62	0,66	0,69
3600	0,40	0,43	0,47	0,51	0,54	0,58	0,61	0,65	0,69	0,72
3750	0,41	0,45	0,49	0,53	0,57	0,60	0,64	0,68	0,72	0,75
3900	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67	0,71	0,74	0,78
4050	0,45	0,49	0,53	0,57	0,61	0,65	0,69	0,73	0,77	0,81
4200	0,46	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,72	0,76	0,80	0,84
4350	0,48	0,52	0,57	0,61	0,66	0,70	0,74	0,79	0,83	0,87
4500	0,50	0,54	0,59	0,63	0,68	0,72	0,77	0,81	0,86	0,90
4650	0,51	0,56	0,61	0,65	0,70	0,75	0,79	0,84	0,89	0,93
4800	0,53	0,58	0,63	0,68	0,72	0,77	0,82	0,87	0,92	0,96
4950	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,94	0,99
5100	0,56	0,61	0,67	0,72	0,77	0,82	0,87	0,92	0,97	1,02
5250	0,58	0,63	0,69	0,74	0,79	0,84	0,90	0,95	1,00	1,05
5400	0,60	0,65	0,71	0,76	0,82	0,87	0,92	0,98	1,03	1,09
5550	0,61	0,67	0,72	0,78	0,84	0,89	0,95	1,00	1,06	1,12
5700	0,63	0,69	0,74	0,80	0,86	0,92	0,97	1,03	1,09	1,15
5850	0,65	0,71	0,76	0,82	0,88	0,94	1,00	1,06	1,12	1,18
6000	0,66	0,72	0,78	0,84	0,90	0,96	1,02	1,08	1,14	1,20

принятых в таблицах, величины P определяются интерполяцией.

Пример 3. По данным статического зондирования среднее удельное сопротивление грунта прониканию наконечника зонда q на отметке острия проектируемой сплошной железобетонной сваи квадратного сечения размером 300×300 мм оказалось равным 120 кг/см^2 , а сопротивление грунта по боковой поверхности зонда $Q_T = 1700 \text{ кг}$. Определить расчетное сопротивление сваи P .

Решение. По табл. 38 на пересечении линий $q = 120 \text{ кг/см}^2$ и $Q_T = 1600$ и 1800 кг находим $P_1 = 49,7 \text{ т}$ (для $Q_T = 1600 \text{ кг}$) и $P = 51,2 \text{ т}$ (для $Q_T = 1800 \text{ кг}$), по которым определяем интерполяцией искомое значение $P = 50,5 \text{ т}$.

§ 4. ТАБЛИЦЫ ЗНАЧЕНИЙ РАСЧЕТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СВАЙ ПО ДАННЫМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Сплошные сваи квадратного сечения

Таблица 36

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 200×200 мм

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай R в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	5,2	6,2	7,2	8,2	9,1	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,1	16,1	17,1	18,1	19,1
35	5,9	6,9	7,9	8,9	9,8	10,8	11,8	12,8	13,8	14,8	15,8	16,8	17,8	18,8	19,8
40	6,6	7,6	8,6	9,6	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5	19,5	20,5
45	7,3	8,3	9,3	10,3	11,2	12,2	13,2	14,2	15,2	16,2	17,2	18,2	19,2	20,2	21,2
50	8,0	9,0	10,0	11,0	11,9	12,9	13,9	14,9	15,9	16,9	17,9	18,9	19,9	20,9	21,9
55	8,7	9,7	10,6	11,6	12,6	13,6	14,6	15,6	16,6	17,6	18,6	19,6	20,6	21,6	22,6
60	9,4	10,4	11,4	12,4	13,3	14,3	15,3	16,3	17,3	18,3	19,3	20,3	21,3	22,3	23,3
65	10,1	11,1	12,1	13,1	14,1	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0
70	10,8	11,8	12,8	13,8	14,7	15,7	16,7	17,7	18,7	19,7	20,7	21,7	22,7	23,7	24,7
75	11,5	12,5	13,5	14,5	15,4	16,4	17,4	18,4	19,4	20,4	21,4	22,4	23,4	24,4	25,4
80	12,2	13,2	14,2	15,2	16,1	17,1	18,1	19,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	25,1	26,1
85	12,9	13,9	14,9	15,9	16,8	17,8	18,8	19,8	20,8	21,8	22,8	23,8	24,8	25,8	26,8
90	13,6	14,6	15,6	16,6	17,5	18,5	19,5	20,5	21,5	22,5	23,5	24,5	25,5	26,5	27,5
95	14,3	15,3	16,3	17,3	18,2	19,2	20,2	21,2	22,2	23,2	24,2	25,2	26,2	27,2	28,2
100	15,0	16,0	17,0	18,0	18,9	19,9	20,9	21,9	22,9	23,9	24,9	25,9	26,9	27,9	28,9
105	15,7	16,7	17,7	18,7	19,6	20,6	21,6	22,6	23,6	24,6	25,6	26,6	27,6	28,6	29,6
110	16,4	17,4	18,4	19,4	20,3	21,3	22,3	23,3	24,3	25,3	26,3	27,3	28,3	29,3	30,3
115	17,1	18,1	19,1	20,1	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0	26,0	27,0	28,0	29,0	30,0	31,0
120	17,8	18,8	19,8	20,8	21,7	22,7	23,7	24,7	25,7	26,7	27,7	28,7	29,7	30,7	31,7
125	18,5	19,5	20,5	21,5	22,4	23,4	24,4	25,4	26,4	27,4	28,4	29,4	30,4	31,4	32,4
130	19,1	20,1	21,1	22,1	23,1	24,1	25,1	26,1	27,1	28,1	29,1	30,1	31,1	32,1	33,1
135	19,9	20,9	21,9	22,9	23,8	24,8	25,8	26,8	27,8	28,8	29,8	30,8	31,8	32,8	33,8
140	20,6	21,6	22,6	23,6	24,5	25,5	26,5	27,5	28,5	29,5	30,5	31,5	32,5	33,5	34,5

145	21,3	22,3	23,3	24,3	25,2	26,2	27,2	28,2	29,2	30,2	31,2	32,2	33,2	34,2	35,2
150	22,0	23,0	24,0	25,0	25,9	26,9	27,9	28,9	29,9	30,9	31,9	32,9	33,9	34,9	35,9
155	22,7	23,7	24,7	25,7	26,6	27,6	28,6	29,6	30,6	31,6	32,6	33,6	34,6	35,6	36,6
160	23,4	24,4	25,4	26,4	27,3	28,3	29,3	30,3	31,3	32,3	33,3	34,3	35,3	36,3	37,3
165	24,1	25,1	26,1	27,1	28,0	29,0	30,0	31,0	32,0	33,0	34,0	35,0	36,0	37,0	28,0
170	24,8	25,8	26,8	27,8	28,7	29,7	30,7	31,7	32,7	33,7	34,7	35,7	36,7	37,7	28,7
175	25,5	26,5	27,5	28,5	29,4	30,4	31,4	32,4	33,4	34,4	35,4	36,4	37,4	38,4	39,4
180	26,2	27,2	28,2	29,2	30,1	31,1	32,1	33,1	34,1	35,1	36,1	37,1	38,1	39,1	40,1
185	26,9	27,9	28,9	29,9	30,8	31,8	32,8	33,8	34,8	35,8	36,8	37,8	38,8	39,8	40,8
190	27,6	28,6	29,6	30,6	31,5	32,5	33,5	34,5	35,5	36,5	37,5	38,5	39,5	40,5	41,5
195	28,3	29,3	30,3	31,3	32,3	33,2	34,2	35,2	36,2	37,2	38,2	39,2	40,2	41,2	42,2
200	29,0	30,0	31,0	32,0	32,9	33,9	34,9	35,9	36,9	37,9	38,9	39,9	40,9	41,9	42,9

Т а б л и ц а 37

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 250×250 мм

Удельное сопротивле- ние грунта под наконеч- ником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	7,8	9,0	10,3	11,5	12,8	14,0	15,2	16,5	17,7	18,9	20,2	21,4	22,7	23,9	25,1
35	8,9	10,1	11,4	12,6	13,8	15,1	16,3	17,6	18,8	20,0	21,3	22,5	23,8	25,0	26,2
40	10,0	11,2	12,5	13,7	14,9	16,2	17,4	18,7	19,9	21,1	22,4	23,6	24,8	26,1	27,3
45	11,1	12,3	13,6	14,8	16,0	17,3	18,5	19,7	21,0	22,2	23,5	24,7	25,9	27,2	28,4
50	12,2	13,4	14,6	15,9	17,1	18,4	19,6	20,8	22,1	23,3	24,6	25,8	27,0	28,3	29,5
55	13,3	14,5	15,7	17,0	18,2	19,5	20,7	21,9	23,2	24,4	25,6	26,9	28,1	29,4	30,6
60	14,4	15,6	16,8	18,1	19,3	20,6	21,8	23,0	24,3	25,5	26,7	28,0	29,2	30,5	31,7
65	15,4	16,7	17,9	19,2	20,4	21,6	22,9	24,1	25,4	26,6	27,8	29,1	30,3	31,6	32,8
70	16,5	17,8	19,0	20,3	21,5	22,7	24,0	25,2	26,5	27,7	28,9	30,2	31,4	32,6	33,9
75	17,6	18,9	20,1	21,4	22,6	23,8	25,1	26,3	27,5	28,8	30,0	31,3	32,5	33,7	35,0

Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
80	18,7	20,0	21,2	22,4	23,7	24,9	26,2	27,4	28,6	29,9	31,1	32,4	33,6	34,8	36,1
85	19,8	21,1	22,3	23,5	24,8	26,0	27,3	28,5	29,7	31,0	32,2	33,5	34,7	35,9	37,2
90	20,9	22,2	23,4	24,6	25,9	27,1	28,4	29,6	30,8	32,1	33,3	34,5	35,8	37,0	38,3
95	22,0	23,2	24,5	25,7	27,0	28,2	29,4	30,7	31,9	33,2	34,4	35,6	36,9	38,1	39,4
100	23,1	24,3	25,6	26,8	28,1	29,3	30,5	31,8	33,0	34,3	35,5	36,7	38,0	39,2	40,5
105	24,2	25,4	26,7	27,9	29,2	30,4	31,6	32,9	34,1	35,4	36,6	37,8	39,1	40,3	41,5
110	25,3	26,5	27,8	29,0	30,2	31,5	32,7	34,0	35,2	36,4	37,7	38,9	40,2	41,4	42,6
115	26,4	27,6	28,9	30,1	31,3	32,6	33,8	35,1	36,3	37,5	38,8	40,0	41,3	42,5	43,7
120	27,5	28,7	30,0	31,2	32,4	33,7	34,9	36,2	37,4	38,6	39,9	41,1	42,4	43,6	44,8
125	28,6	29,8	31,1	32,3	33,5	34,8	36,0	37,2	38,5	39,7	41,0	42,2	43,4	44,7	45,9
130	29,7	30,9	32,1	33,4	34,6	35,9	37,1	38,3	39,6	40,8	42,1	43,3	44,5	45,8	47,0
135	30,8	32,0	33,2	34,5	35,7	37,0	38,2	39,4	40,7	41,9	43,1	44,4	45,6	46,9	48,1
140	31,9	33,1	34,3	35,6	36,8	38,1	39,3	40,5	41,8	43,0	44,2	45,5	46,7	48,0	49,2
145	32,9	34,2	35,4	36,7	37,9	39,1	40,4	41,6	42,9	44,1	45,3	46,6	47,8	49,1	50,3
150	34,0	35,3	36,5	37,8	39,0	40,2	41,5	42,7	44,0	45,2	46,4	47,7	48,9	50,1	51,4
155	35,1	36,4	37,6	38,9	40,1	41,3	42,6	43,8	45,0	46,3	47,5	48,8	50,0	51,2	52,5
160	36,2	37,6	38,7	39,9	41,2	42,4	43,7	44,9	46,1	47,4	48,6	49,9	51,1	52,3	53,6
165	37,3	38,6	39,8	41,0	42,3	43,5	44,8	46,0	47,2	48,5	49,7	51,0	52,2	53,4	54,7
170	38,4	39,7	40,9	42,1	43,4	44,6	45,9	47,1	48,3	49,6	50,8	52,0	53,3	54,5	55,8
175	39,5	40,7	42,0	43,2	44,5	45,7	46,9	48,2	49,4	50,7	51,9	53,1	54,4	55,8	56,9
180	40,6	41,8	43,1	44,3	45,6	46,8	48,0	49,3	50,5	51,8	53,0	54,2	55,5	56,7	58,0
185	41,7	42,9	44,2	45,4	46,7	47,9	49,1	50,4	51,6	52,9	54,1	55,3	56,6	57,8	59,0
190	42,8	44,0	45,3	46,5	47,7	49,0	50,2	51,5	52,7	53,9	55,2	56,4	57,7	58,9	60,1
195	43,9	45,1	46,4	47,6	48,8	50,1	51,3	52,6	53,8	55,0	56,3	57,5	58,8	60,0	61,2
200	45,0	46,2	47,5	48,7	49,9	51,2	52,4	53,7	54,9	56,1	57,4	58,6	59,9	61,1	62,3

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 300×300 мм

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай R в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	10,9	12,4	13,9	15,4	16,9	18,4	19,9	21,3	22,8	24,3	25,8	27,3	28,8	30,3	31,7
35	12,5	14,0	15,5	17,0	18,5	19,9	21,4	22,9	24,4	25,9	27,4	28,9	30,4	31,8	33,3
40	14,1	15,6	17,1	18,5	20,0	21,5	23,0	24,5	26,0	27,5	29,0	30,4	31,9	33,4	34,9
45	15,7	17,1	18,6	20,1	21,6	23,1	24,6	26,1	27,6	29,0	30,5	32,0	33,5	35,0	36,5
50	17,2	18,7	20,2	21,7	23,2	24,7	26,2	27,7	29,1	30,6	32,1	33,6	35,1	36,6	38,0
55	18,8	20,3	21,8	23,3	24,8	26,2	27,7	29,2	30,7	32,2	33,7	35,2	36,7	38,1	39,6
60	20,4	21,9	23,4	24,8	26,3	27,8	29,3	30,8	32,3	33,8	35,3	36,7	38,2	39,7	41,2
65	22,0	23,4	24,9	26,4	27,9	29,4	30,9	32,4	33,9	35,3	36,8	38,3	39,8	41,3	42,8
70	23,5	25,0	26,5	28,0	29,5	31,0	32,5	33,9	35,4	36,9	38,4	39,9	41,4	42,9	44,3
75	25,1	26,6	28,1	29,6	31,1	32,5	34,0	35,5	37,0	38,5	40,0	41,5	43,0	44,5	45,9
80	26,7	28,2	29,7	31,1	32,6	34,1	35,6	37,1	38,6	40,1	41,6	43,0	44,5	46,0	47,5
85	28,3	29,7	31,2	32,7	34,2	35,7	37,2	38,7	40,2	41,6	43,1	44,6	46,1	47,6	49,1
90	29,8	31,3	32,8	34,3	35,8	37,3	38,8	40,2	41,7	43,2	44,7	46,2	47,7	49,2	50,6
95	31,4	32,9	34,4	35,9	37,4	38,8	40,3	41,8	43,3	44,8	46,3	47,8	49,3	50,7	52,2
100	33,0	34,5	36,0	37,4	38,9	40,4	41,9	43,4	44,9	46,4	47,9	49,3	50,8	52,3	53,8
105	34,6	36,0	37,5	39,0	40,5	42,0	43,5	45,0	46,5	47,9	49,4	50,9	52,4	53,9	55,4
110	36,1	37,6	39,1	40,6	42,1	43,6	45,1	46,5	48,0	49,5	51,0	52,5	54,0	55,5	56,9
115	37,7	39,2	40,7	42,2	43,7	45,1	46,6	48,1	49,6	51,1	52,6	54,1	55,6	57,0	58,5
120	39,3	40,8	42,3	43,7	45,2	46,7	48,2	49,7	51,2	52,7	54,2	55,6	57,1	58,6	60,1
125	40,9	42,3	43,8	45,3	46,8	48,3	49,8	51,3	52,8	54,2	55,7	57,2	58,7	60,2	61,7
130	42,4	43,9	45,4	46,9	48,4	49,9	51,4	52,8	54,3	55,8	57,3	58,8	60,3	61,8	63,2
135	44,0	45,5	47,0	48,5	50,0	51,4	52,9	54,4	55,9	57,4	58,9	60,4	61,9	63,3	64,8
140	45,6	47,1	48,6	50,0	51,5	53,0	54,5	56,0	57,5	59,0	60,5	61,9	63,4	64,9	66,4
145	47,2	48,6	50,1	51,6	53,1	54,6	56,1	57,6	59,1	60,5	62,0	63,5	65,0	66,5	68,0
150	48,7	50,2	51,7	53,2	54,7	56,2	57,7	59,1	60,6	62,1	63,6	65,1	66,6	68,1	69,5
155	50,3	51,8	53,3	54,8	56,3	57,7	59,2	60,7	62,2	63,7	65,2	66,7	68,1	69,6	71,1
160	51,9	53,4	54,9	56,3	57,8	59,3	60,8	62,3	63,8	65,3	66,8	68,2	69,7	71,2	72,7

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_r в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
165	53,5	54,9	56,4	57,9	59,4	60,9	62,4	63,9	65,4	66,8	68,3	69,8	71,3	72,8	74,3
170	55,0	56,5	58,0	59,5	61,0	62,5	64,0	65,4	66,9	68,4	69,9	71,3	72,9	74,3	75,8
175	56,6	58,1	59,6	61,1	62,6	64,0	65,5	67,0	68,5	70,0	71,5	72,9	74,4	75,9	77,4
180	58,2	59,7	61,2	62,6	64,1	65,6	67,1	68,6	70,1	71,5	73,0	74,5	76,0	77,5	80,0
185	59,8	61,2	62,7	64,2	65,7	67,2	68,7	70,1	71,6	73,1	74,6	76,1	77,6	79,0	80,6
190	61,3	62,8	64,3	65,8	67,3	68,8	70,2	71,7	73,2	74,7	76,2	77,6	79,2	80,6	82,1
195	62,9	64,4	65,9	67,4	68,9	70,3	71,8	73,3	74,8	76,2	77,7	79,2	80,7	82,2	83,7
200	64,5	66,0	67,5	68,9	70,4	71,9	73,4	74,6	76,3	77,8	79,3	80,8	82,3	83,8	85,3

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 350×350 мм

Таблица 39

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_r в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	14,6	16,3	18,1	19,8	21,5	23,3	25,0	26,7	28,5	30,2	31,9	33,7	35,4	37,1	38,9
35	16,7	18,5	20,2	21,9	23,7	25,4	27,1	28,9	30,6	32,3	34,1	35,8	37,5	39,3	41,0
40	18,9	20,6	22,4	24,1	25,8	27,6	29,3	31,0	32,8	34,5	36,2	38,0	39,7	41,4	43,2
45	21,0	22,8	24,5	26,2	28,0	29,7	31,4	33,2	34,9	36,6	38,4	40,1	41,8	43,6	45,3
50	23,2	24,9	26,6	28,4	30,1	31,8	33,6	35,3	37,0	38,8	40,5	42,2	44,0	45,7	47,4
55	25,3	27,0	28,8	30,5	32,2	34,0	35,7	37,5	39,2	40,9	42,7	44,4	46,1	47,9	49,6
60	27,5	29,2	30,9	32,7	34,4	36,1	37,9	39,6	41,3	43,1	44,8	46,5	48,3	50,0	51,7
65	29,6	31,3	33,1	34,8	36,5	38,3	40,0	41,7	43,5	45,2	46,9	48,7	50,4	52,2	53,9
70	31,7	33,5	35,2	36,9	38,7	40,4	42,1	43,9	45,6	47,3	49,1	50,8	52,6	54,3	56,0
75	33,9	35,6	37,4	39,1	40,8	42,6	44,3	46,0	47,8	49,5	51,2	53,0	54,7	56,4	58,2
80	36,0	37,8	39,5	41,2	43,0	44,7	46,4	48,2	49,9	51,6	53,4	55,1	56,8	58,6	60,3
85	38,2	39,9	41,6	43,4	45,1	46,8	48,6	50,3	52,1	53,8	55,5	57,3	59,0	60,7	62,5
90	40,3	42,0	43,8	45,5	47,3	49,0	50,7	52,5	54,2	55,9	57,7	59,4	61,1	62,9	64,6

95	42,5	44,2	45,9	47,7	49,4	51,1	52,9	54,6	56,3	58,1	59,8	61,5	63,3	65,0	66,7
100	44,6	46,3	48,1	49,8	51,5	53,3	55,0	56,7	58,5	60,2	62,0	63,7	65,4	67,2	68,9
105	46,7	48,5	50,2	52,0	53,7	55,4	57,2	58,9	60,6	62,4	64,1	65,8	67,6	69,3	71,0
110	48,9	50,6	52,4	54,1	55,8	57,6	59,3	61,0	62,8	64,5	66,2	68,0	69,7	71,4	73,2
115	51,0	52,8	54,5	56,5	58,0	59,7	61,4	63,2	64,9	66,6	68,4	70,1	71,8	73,6	75,3
120	53,2	54,9	56,7	58,4	60,1	61,9	63,6	65,3	67,1	68,8	70,5	72,2	74,0	75,7	77,4
125	55,3	57,1	58,8	60,5	62,3	64,0	65,7	67,5	69,2	70,9	72,7	74,3	76,1	77,8	79,6
130	57,5	59,2	60,9	62,7	64,4	66,1	67,9	69,6	71,3	73,0	74,8	76,5	78,3	80,0	81,7
135	59,6	61,3	63,1	64,8	66,5	68,3	70,0	71,8	73,4	75,2	76,9	78,7	80,4	82,1	83,9
140	61,8	63,5	65,2	67,0	68,7	70,4	72,1	73,9	75,6	77,4	79,1	80,8	82,5	84,3	86,0
145	63,9	65,6	67,4	69,1	70,8	72,5	74,3	76,0	77,8	79,5	81,2	83,0	84,7	86,5	88,1
150	66,0	67,8	69,5	71,2	72,9	74,7	76,4	78,1	79,9	81,6	83,4	85,1	83,8	88,6	90,3
155	68,2	69,9	71,6	73,4	75,1	76,8	78,5	80,3	82,0	83,8	85,5	87,2	89,0	90,7	92,4
160	70,3	72,0	73,8	75,5	77,2	79,0	80,7	82,5	84,2	85,9	87,6	89,4	91,1	92,8	94,6
165	72,4	74,1	75,9	77,6	79,3	81,1	82,8	84,6	86,3	88,0	89,7	91,5	93,2	94,9	96,7
170	74,6	76,3	78,1	79,8	81,5	83,2	85,0	86,7	88,5	90,2	91,9	93,7	95,4	97,1	98,8
175	76,7	78,4	80,2	81,9	83,6	85,3	87,1	88,8	90,6	92,3	94,0	95,8	97,5	99,2	100,9
180	78,8	80,6	82,3	84,1	85,8	87,5	89,3	91,0	92,8	94,4	96,2	97,9	99,7	101,3	103,1
185	81,0	82,7	84,5	86,2	87,9	89,6	91,4	93,2	94,9	96,6	98,4	100,1	101,8	103,5	105,2
190	83,1	84,8	86,6	88,3	90,0	91,8	93,5	95,3	97,0	98,7	100,4	102,2	103,9	105,6	107,3
195	85,3	87,0	88,8	90,5	92,2	93,9	95,7	97,4	99,2	100,8	102,6	104,3	106,1	107,8	109,5
200	87,4	89,2	90,9	92,7	94,4	96,1	97,9	99,6	101,3	103,0	104,7	106,5	108,2	109,9	111,7

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 400×400 мм

Таблица 40

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	18,8	20,8	22,7	24,7	26,7	28,7	30,7	32,7	34,6	36,6	38,6	40,6	42,6	44,5	46,5
35	21,6	23,6	25,5	27,5	29,5	31,5	33,5	35,5	37,4	39,4	41,4	43,4	45,4	47,3	49,3
40	24,4	26,4	28,3	30,3	32,3	34,3	36,3	38,3	40,2	42,2	44,2	46,2	48,2	50,1	52,1
45	27,2	29,2	31,1	33,1	35,1	37,1	39,1	41,1	43,0	45,0	47,0	49,0	51,0	52,9	54,9
50	30,0	32,0	33,9	35,9	37,9	39,9	41,9	43,9	45,8	47,8	49,8	51,8	53,8	55,7	57,7
55	32,8	34,8	36,7	38,7	40,7	42,7	44,7	46,7	48,6	50,6	52,6	54,6	56,6	58,5	60,5

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай R в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
60	35,6	37,6	39,5	41,5	43,5	45,5	47,5	49,5	51,4	53,4	55,4	57,4	59,4	61,3	63,3
65	38,4	40,4	42,3	44,3	46,3	48,3	50,3	52,3	54,2	56,2	58,2	60,2	62,2	64,1	66,1
70	41,2	43,2	45,1	47,1	49,1	51,1	53,1	55,1	57,0	59,0	61,0	63,0	65,0	66,9	68,9
75	44,0	46,0	47,9	49,9	51,9	53,9	55,9	57,9	59,8	61,8	63,8	65,8	67,8	69,7	71,7
80	46,8	48,8	50,7	52,7	54,7	56,7	58,7	60,7	62,6	64,6	66,6	68,6	70,6	72,5	74,5
85	49,6	51,6	53,5	55,5	57,5	59,5	61,5	63,5	65,4	67,4	69,4	71,3	73,4	75,3	77,3
90	52,4	54,4	56,3	58,3	60,3	62,3	64,3	66,3	68,2	70,2	72,2	74,1	76,2	78,1	80,1
95	55,2	57,2	59,1	61,1	63,1	65,1	67,1	69,1	71,0	73,0	75,0	76,9	79,0	80,9	82,9
100	58,0	60,0	61,9	63,9	65,9	67,9	69,9	71,8	73,8	75,8	77,8	79,7	81,8	83,7	85,7
105	60,8	62,8	64,7	66,7	68,7	70,6	72,7	74,6	76,6	78,6	80,6	82,5	84,6	86,5	88,5
110	63,6	65,6	67,5	69,5	71,5	73,4	75,5	77,4	79,4	81,4	83,4	85,3	87,4	89,3	91,3
115	66,4	68,4	70,3	72,3	74,3	76,2	78,3	80,2	82,2	84,2	86,2	88,1	90,2	92,1	94,1
120	69,2	71,1	73,1	75,1	77,1	79,0	81,1	83,0	85,0	87,0	89,0	90,9	93,0	94,9	96,9
125	72,0	73,9	75,9	77,9	79,9	81,8	83,9	85,8	87,8	89,8	91,8	93,7	95,8	97,7	99,7
130	74,8	76,7	78,7	80,7	82,7	84,6	86,7	88,6	90,6	92,6	94,6	96,5	98,5	100,5	102,4
135	77,6	79,5	81,5	83,5	85,5	87,4	89,5	91,4	93,4	95,4	97,4	99,3	101,3	103,3	105,2
140	80,4	82,3	84,3	86,3	88,3	90,2	92,3	94,2	96,2	98,2	100,1	102,1	104,1	106,1	108,0
145	83,2	85,1	87,1	89,1	91,1	93,0	95,1	97,0	99,0	101,0	102,9	104,9	106,9	108,9	110,8
150	86,0	87,9	89,9	91,9	93,9	95,8	97,8	99,8	101,7	103,8	105,7	107,7	109,7	111,7	113,6
155	88,8	90,7	92,7	94,7	96,7	98,6	100,6	102,6	104,5	106,6	108,5	110,5	112,5	114,5	116,4
160	91,6	93,5	95,5	97,5	99,5	101,4	103,4	105,4	107,4	109,4	111,3	113,3	115,3	117,3	119,2
165	94,4	96,3	98,3	100,3	102,2	104,2	106,2	108,2	110,2	112,2	114,1	116,1	118,1	120,1	122,0
170	97,2	99,1	101,0	103,1	105,0	107,0	109,0	111,0	112,9	115,0	116,9	118,9	120,9	122,9	124,8
175	100,0	101,9	103,8	105,9	107,8	109,8	111,8	113,8	115,7	117,8	119,7	121,7	123,7	125,7	127,6
180	102,7	104,7	106,6	108,7	110,6	112,6	114,6	116,6	118,5	120,6	122,5	124,5	126,5	128,5	130,4
185	105,5	107,5	109,4	111,5	113,4	115,4	117,4	119,4	121,3	123,4	125,3	127,3	129,3	131,3	133,2
190	108,3	110,3	112,2	114,3	116,2	118,2	120,2	122,2	124,1	126,2	128,1	130,1	132,1	134,1	136,0
195	111,1	113,1	115,0	117,1	119,0	121,0	123,0	125,0	126,9	129,0	130,9	132,9	134,9	136,9	138,8
200	113,9	115,9	117,8	119,9	121,8	123,8	125,8	127,8	129,7	131,8	133,7	135,7	137,7	139,7	141,6

Сплошные сваи прямоугольного сечения

Таблица 41

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 300×200 мм

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_r в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	7,6	8,8	10,0	11,2	12,5	13,7	15,0	16,2	17,4	18,7	19,9	21,2	22,4	23,6	24,9
35	8,6	9,8	11,1	12,3	13,5	14,8	16,0	17,3	18,5	19,7	21,0	22,2	23,5	24,7	25,9
40	9,6	10,9	12,1	13,3	14,6	15,8	17,1	18,3	19,5	20,8	22,0	23,3	24,5	25,7	27,0
45	10,7	11,9	13,2	14,4	15,6	16,9	18,1	19,4	20,6	21,8	23,1	24,3	25,6	26,8	28,0
50	11,7	13,0	14,2	15,4	16,7	17,9	19,2	20,4	21,6	22,9	24,1	25,4	26,6	27,8	29,1
55	12,8	14,0	15,3	16,5	17,7	19,0	20,2	21,5	22,7	23,9	25,2	26,4	27,7	28,9	30,1
60	13,8	15,1	16,3	17,5	18,8	20,0	21,3	22,5	23,7	25,0	26,2	27,5	28,7	29,9	31,2
65	14,9	16,1	17,4	18,6	19,8	21,1	22,3	23,6	24,8	26,0	27,3	28,5	29,7	31,0	32,2
70	15,9	17,2	18,4	19,6	20,9	22,1	23,4	24,6	25,8	27,1	28,3	29,6	30,8	32,0	33,3
75	17,0	18,2	19,5	20,7	21,9	23,3	24,4	25,7	26,9	28,1	29,4	30,6	31,8	33,1	34,3
80	18,0	19,3	20,5	21,7	23,0	24,3	25,5	26,7	27,9	29,2	30,4	31,7	32,9	34,1	35,4
85	19,1	20,3	21,6	22,8	24,0	25,3	26,5	27,8	29,0	30,2	31,5	32,7	34,0	36,2	36,4
90	20,1	21,4	22,6	23,8	25,1	26,3	27,6	28,8	30,0	31,3	32,5	33,8	35,0	36,2	37,5
95	21,2	22,4	23,7	24,9	26,1	27,4	28,6	29,9	31,1	32,3	33,6	34,8	36,1	37,3	38,5
100	22,2	23,5	24,7	25,9	27,2	28,4	29,7	30,9	32,1	33,4	34,6	35,9	37,1	38,3	39,6
105	23,3	24,5	25,8	27,0	28,2	29,5	30,7	32,0	33,2	34,4	35,7	36,9	38,2	39,4	40,6
110	24,3	25,6	26,8	28,0	29,3	30,5	31,8	33,0	34,2	35,5	36,7	38,0	39,2	40,4	41,7
115	25,4	26,6	27,9	29,1	30,3	31,6	32,8	34,1	35,3	36,5	37,8	39,0	40,3	41,5	42,7
120	26,4	27,7	28,9	30,1	31,4	32,6	33,9	35,1	36,3	37,6	38,8	40,1	41,3	42,5	43,8
125	27,5	28,7	30,0	31,2	32,4	33,7	34,9	36,2	37,4	38,6	39,9	41,1	42,4	43,6	44,8
130	28,5	29,8	31,0	32,2	33,5	34,7	36,0	37,2	38,4	39,7	40,9	42,2	43,4	44,6	45,9
135	29,6	30,8	32,1	33,3	34,5	35,8	37,0	38,3	39,5	40,7	42,0	43,2	44,5	45,7	46,9
140	30,6	31,9	33,1	34,3	35,6	36,8	38,1	39,3	40,5	41,8	43,0	44,3	45,5	46,7	48,0
145	31,7	32,9	34,2	35,4	36,6	37,9	39,1	40,4	41,6	42,8	44,1	45,3	46,6	47,8	49,0
150	32,7	34,0	35,2	36,4	37,7	38,9	40,2	41,4	42,6	43,9	45,1	46,4	47,6	48,8	50,1

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
155	33,8	35,0	36,3	37,5	38,7	40,0	41,2	42,5	43,7	44,9	46,2	47,4	48,7	49,9	51,1
160	34,8	36,1	37,3	38,5	39,8	41,0	42,3	43,5	44,7	46,0	47,2	48,5	49,7	50,9	52,2
165	35,9	37,1	38,4	39,6	40,8	42,1	43,3	44,6	45,8	47,0	48,3	49,5	50,8	52,0	53,2
170	36,9	38,2	39,4	40,6	41,9	43,1	44,4	45,6	46,8	48,1	49,3	50,6	51,8	53,0	54,3
175	38,0	39,2	40,5	41,7	42,9	44,2	45,4	46,7	47,9	49,1	50,4	51,6	52,9	54,1	55,3
180	39,0	40,3	41,5	42,7	44,0	45,2	46,5	47,7	48,9	50,2	51,4	52,7	53,9	55,1	56,4
185	40,1	41,3	42,6	43,8	45,0	46,3	47,5	48,8	50,0	51,2	52,5	53,7	55,0	56,2	57,4
190	41,1	42,4	43,6	44,8	46,1	47,3	48,6	49,8	51,0	52,3	53,5	54,8	56,0	57,2	58,5
195	42,2	43,4	44,7	45,9	47,1	48,4	49,6	50,9	52,1	53,3	54,6	55,8	57,1	58,3	59,5
200	43,2	44,5	45,7	46,9	48,2	49,4	50,7	51,9	53,1	54,4	55,6	56,9	58,1	59,3	60,6

Таблица 42

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 350×250 мм

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	10,7	12,1	13,6	15,1	16,6	18,1	19,6	21,1	22,6	24,0	25,5	27,0	28,5	30,0	31,5
35	12,2	13,7	15,2	16,7	18,1	19,6	21,1	22,6	24,1	25,6	27,1	28,6	30,0	31,5	33,0
40	13,7	15,2	16,7	18,2	19,7	21,2	22,7	24,1	25,6	27,1	28,6	30,1	31,6	33,1	34,5
45	15,3	16,7	18,2	19,7	21,2	22,7	24,2	25,7	27,2	28,6	30,1	31,6	33,1	34,6	36,1
50	16,8	18,3	19,8	21,3	22,7	24,2	25,7	27,2	28,7	30,2	31,7	33,1	34,6	36,1	37,6

55	18,3	19,8	21,3	22,8	24,3	25,8	27,2	28,7	30,2	31,7	33,2	34,7	36,2	37,7	39,1
60	19,9	21,3	22,8	24,3	25,8	27,3	28,8	30,3	31,8	33,3	34,8	36,2	37,7	39,2	40,7
65	21,4	22,9	24,4	25,8	27,3	28,8	30,3	31,8	33,3	34,8	36,3	37,8	39,3	40,8	42,2
70	22,9	24,4	25,9	27,4	28,9	30,4	31,8	33,3	34,8	36,3	37,8	39,3	40,8	42,3	43,7
75	24,5	25,9	27,4	28,9	30,4	31,9	33,4	34,9	36,3	37,8	39,3	40,8	42,3	43,8	45,3
80	26,0	27,5	29,0	30,4	31,9	33,4	34,9	36,4	37,9	39,4	40,9	42,3	43,8	45,3	46,8
85	27,5	29,0	30,5	32,0	33,5	34,9	36,4	37,9	39,4	40,9	42,4	43,9	45,4	46,8	48,3
90	29,0	30,5	32,0	33,5	35,0	36,5	38,0	39,5	40,9	42,4	43,9	45,4	46,9	48,4	49,9
95	30,6	32,1	33,6	35,0	36,5	38,0	39,5	41,0	42,5	44,0	45,4	46,9	48,4	49,9	51,4
100	32,1	33,6	35,1	36,6	38,1	39,5	41,0	42,5	44,0	45,5	47,0	48,5	50,0	51,4	52,9
105	33,6	35,1	36,6	38,1	39,6	41,1	42,6	44,0	45,5	47,0	48,5	50,0	51,5	53,0	54,4
110	35,2	36,7	38,1	39,6	41,1	42,6	44,1	45,6	47,1	48,5	50,0	51,5	53,0	54,5	56,0
115	36,7	38,2	39,7	41,2	42,6	44,1	45,6	47,1	48,6	50,1	51,6	53,1	54,5	56,0	57,5
120	38,2	39,7	41,2	42,7	44,2	45,7	47,2	48,6	50,1	51,6	53,1	54,6	56,1	57,6	59,0
125	39,7	41,2	42,7	44,2	45,7	47,2	48,7	50,2	51,7	53,2	54,6	56,1	57,6	59,1	60,6
130	41,3	42,8	44,3	45,8	47,2	48,7	50,2	51,7	53,2	54,7	56,2	57,7	59,2	60,7	62,1
135	42,8	44,3	45,8	47,3	48,8	50,3	51,7	53,2	54,7	56,2	57,7	59,2	60,7	62,2	63,6
140	44,4	45,8	47,3	48,8	50,3	51,8	53,3	54,8	56,3	57,7	59,2	60,7	62,2	63,7	65,2
145	45,9	47,4	48,9	50,3	51,8	53,3	54,8	56,3	57,8	59,3	60,8	62,2	63,7	65,2	66,7
150	47,4	48,9	50,4	51,9	53,4	54,9	56,3	57,8	59,3	60,8	62,3	63,8	65,3	66,7	68,2
155	49,0	50,4	51,9	53,4	54,9	56,4	57,9	59,4	60,8	62,3	63,8	65,3	66,8	68,3	69,8
160	50,5	52,0	53,5	54,9	56,4	57,9	59,4	60,9	62,4	63,9	65,4	66,8	68,3	69,8	71,3
165	52,0	53,5	55,0	56,5	58,0	59,4	60,9	62,4	63,9	65,4	66,9	68,4	69,9	71,3	72,8
170	53,5	55,0	56,5	58,0	59,5	61,0	62,5	64,0	65,4	66,9	68,4	69,9	71,3	72,8	74,3
175	55,1	56,6	58,1	59,5	61,0	62,5	64,0	65,5	67,0	68,5	69,9	71,4	72,9	74,4	75,9
180	56,6	58,1	59,6	61,1	62,6	64,0	65,5	67,0	68,5	70,0	71,5	72,9	74,4	75,9	77,4
185	58,1	59,6	61,1	62,6	64,1	65,6	67,1	68,5	70,0	71,5	72,9	74,5	75,9	77,4	78,9
190	59,7	61,2	62,6	64,1	65,6	67,1	68,6	70,1	71,5	73,0	74,5	76,0	77,5	79,0	80,4
195	61,2	62,7	64,2	65,7	67,1	68,6	70,1	71,6	73,1	74,6	76,0	77,5	79,0	80,5	82,0
200	62,7	64,2	65,7	67,2	68,7	70,1	71,6	73,1	74,6	76,1	77,6	79,0	80,5	82,0	83,5

Сваи квадратного сечения с круглой полостью

Таблица 43

Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 250×250 мм с полостью диаметром 110 мм

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	6,8	8,0	9,3	10,5	11,8	13,0	14,2	15,5	16,7	17,9	19,2	20,4	21,7	22,9	24,1
35	7,7	9,0	10,2	11,4	12,7	13,9	15,2	16,4	17,6	18,9	20,1	21,4	22,6	23,8	25,1
40	8,7	9,9	11,1	12,4	13,6	14,8	16,1	17,3	18,6	19,8	21,0	22,3	23,5	24,8	26,0
45	9,6	10,8	12,1	13,3	14,5	15,8	17,0	18,2	19,5	20,7	22,0	23,2	24,5	25,7	26,9
50	10,5	11,7	13,0	14,2	15,5	16,7	17,9	19,2	20,4	21,7	22,9	24,1	25,4	26,6	27,9
55	11,4	12,7	13,9	15,1	16,4	17,6	18,9	20,1	21,3	22,6	23,8	25,1	26,3	27,5	28,8
60	12,4	13,6	14,8	16,1	17,3	18,6	19,8	21,0	22,3	23,5	24,8	26,0	27,2	28,5	29,7
65	13,3	14,5	15,8	17,0	18,2	19,5	20,7	22,0	23,2	24,4	25,7	26,9	28,1	29,4	30,6
70	14,2	15,5	16,7	17,9	19,2	20,4	21,7	22,9	24,1	25,4	26,6	27,8	29,1	30,3	31,6
75	15,1	16,4	17,6	18,8	20,1	21,3	22,6	23,8	25,1	26,3	27,5	28,8	30,0	31,2	32,5
80	16,1	17,3	18,6	19,8	21,0	22,3	23,5	24,7	26,0	27,2	28,5	29,7	30,9	32,2	33,4
85	17,0	18,2	19,5	20,7	22,0	23,2	24,4	25,7	26,9	28,1	29,4	30,6	31,9	33,1	34,3
90	17,9	19,2	20,4	21,6	22,9	24,1	25,4	26,6	27,8	29,1	30,3	31,6	32,8	34,0	35,3
95	18,9	20,1	21,3	22,6	23,8	25,0	26,3	27,5	28,8	30,0	31,2	32,5	33,7	35,0	36,2
100	19,8	21,0	22,3	23,5	24,7	26,0	27,2	28,5	29,7	30,9	32,2	33,4	34,7	35,9	37,0
105	20,7	21,9	23,2	24,4	25,7	26,9	28,1	29,4	30,6	31,9	33,1	34,3	35,6	36,8	38,1
110	21,6	22,9	24,1	25,4	26,6	27,8	29,1	30,3	31,5	32,8	34,0	35,3	36,5	37,7	39,0
115	22,6	23,8	25,0	26,3	27,5	28,8	30,0	31,2	32,5	33,7	35,0	36,2	37,4	38,7	39,9
120	23,5	24,7	26,0	27,2	28,4	29,7	30,9	32,2	33,4	34,6	35,9	37,1	38,4	39,6	40,8
125	24,4	25,7	26,9	28,1	29,4	30,6	31,9	33,1	34,3	35,6	36,8	38,0	39,3	40,5	41,8
130	25,3	26,6	27,8	29,1	30,3	31,5	32,8	34,0	35,3	36,5	37,7	39,0	40,2	41,5	42,7
135	26,3	27,5	28,7	30,0	31,2	32,5	33,7	34,9	36,2	37,4	38,7	39,9	41,1	42,4	43,6
140	27,2	28,4	29,7	30,9	32,2	33,4	34,6	35,9	37,1	38,4	39,6	40,8	42,1	43,3	44,5
145	28,1	29,4	30,6	31,8	33,1	34,3	35,6	36,8	38,0	39,3	40,5	41,8	43,0	44,2	45,5
150	29,1	30,3	31,5	32,8	34,0	35,3	36,5	37,7	39,0	40,2	41,4	42,7	43,9	45,2	46,4

155	30,0	31,2	32,5	33,7	34,9	36,2	37,4	38,7	39,9	41,1	42,4	43,6	44,8	46,1	47,3
160	30,9	32,2	33,4	34,6	35,9	37,1	38,3	39,6	40,8	42,1	43,3	44,5	45,8	47,0	48,3
165	31,8	33,1	34,3	35,6	36,8	38,0	39,3	40,5	41,7	43,0	44,2	45,5	46,7	47,9	49,2
170	32,8	34,0	35,2	36,5	37,7	39,0	40,2	41,4	42,7	43,9	45,2	46,4	47,6	48,9	50,1
175	33,7	34,9	36,2	37,4	38,6	39,9	41,1	42,4	43,6	44,8	46,1	47,3	48,6	49,8	51,0
180	34,6	35,9	37,1	38,3	39,6	40,8	42,1	43,3	44,5	45,8	47,0	48,3	49,5	50,7	52,0
185	35,5	36,8	38,0	39,3	40,5	41,7	43,0	44,2	45,5	46,7	47,9	49,2	50,4	51,7	52,9
190	36,5	37,7	39,0	40,2	41,4	42,7	43,9	45,2	46,4	47,6	48,9	50,1	51,3	52,6	53,8
195	37,4	38,6	39,9	41,1	42,4	43,6	44,8	46,1	47,3	48,6	49,8	51,0	52,3	53,5	54,7
200	38,3	39,6	40,8	42,0	43,3	44,5	45,8	47,0	48,2	49,5	50,7	52,0	53,2	54,4	55,7

Т а б л и ц а 44

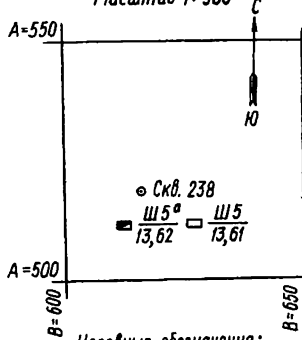
Диаметр зонда — 36 мм; поперечное сечение свай — 300×300 мм с полостью диаметром 160 мм

Удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q в кг/см ²	Расчетное сопротивление свай P в т при сопротивлении грунта по боковой поверхности зонда Q_T в кг														
	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2600	2800	3000
30	8,8	10,3	11,8	12,3	14,8	16,3	17,7	19,2	20,7	22,2	23,7	25,2	26,7	28,1	29,6
35	10,0	11,5	13,0	14,5	16,0	17,5	19,0	20,5	21,9	23,4	24,9	26,4	27,9	29,4	30,9
40	11,3	12,8	14,2	15,7	17,2	18,7	20,2	21,7	23,2	24,6	26,1	27,6	29,1	30,6	32,1
45	12,5	14,0	15,5	16,9	18,4	19,9	21,4	22,9	24,4	25,9	27,4	28,8	30,3	31,8	33,3
50	13,7	15,2	16,7	18,2	19,7	21,1	22,6	24,1	25,6	27,1	28,6	30,1	31,6	33,0	34,5
55	14,9	16,4	17,9	19,4	20,9	22,4	23,9	25,3	26,8	28,3	29,8	31,3	32,8	34,3	35,7
60	16,2	17,6	19,1	20,6	22,1	23,6	25,1	26,6	28,1	29,5	31,0	32,5	34,0	35,5	37,0
65	17,4	18,9	20,4	21,8	23,3	24,8	26,3	27,8	29,3	30,8	32,2	33,7	35,2	36,7	38,2
70	18,6	20,1	21,6	23,1	24,5	26,0	27,5	29,0	30,5	32,0	33,5	35,0	36,4	37,9	39,4
75	19,8	21,3	22,8	24,3	25,8	27,3	28,7	30,2	31,7	33,2	34,7	36,2	37,7	39,2	40,6
80	21,1	22,5	24,0	25,5	27,0	28,5	30,0	31,5	32,9	34,4	35,9	37,4	38,9	40,4	41,9
85	22,3	23,8	25,2	26,7	28,2	29,7	30,2	32,7	34,2	35,7	37,1	38,6	40,1	41,6	43,1
90	23,5	25,0	26,5	28,0	29,4	30,9	32,4	33,92	35,4	36,9	38,4	39,9	41,3	42,8	44,3
95	24,7	26,2	27,7	29,2	30,7	32,2	33,6	35,1	36,6	38,1	39,6	41,1	42,6	44,1	45,5
100	25,9	27,4	28,9	30,4	31,9	33,4	34,9	36,4	37,8	39,3	40,8	42,3	43,8	45,3	46,8
105	27,2	28,7	30,1	31,6	33,1	34,6	36,1	37,6	39,1	40,5	42,0	43,5	45,0	46,5	48,0
110	28,4	29,9	31,4	32,9	34,3	35,8	37,3	38,8	40,3	41,8	43,3	44,7	46,2	47,7	49,2

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Схема размещения опытного куста II

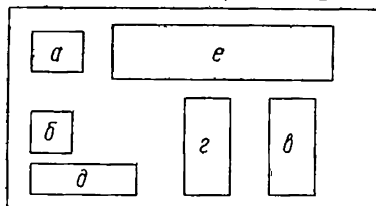
Масштаб 1: 500



Условные обозначения:

- Скв. 238 Скважина и ее номер
- Шурфы для установки штампа:
на грунтах естественной влажности и номер
- Ш5 13,61 Отметка устья, м на искусственно замоченных грунтах и номер
- Ш5^а 13,62 Отметка устья, м

Схема компоновки приложения II



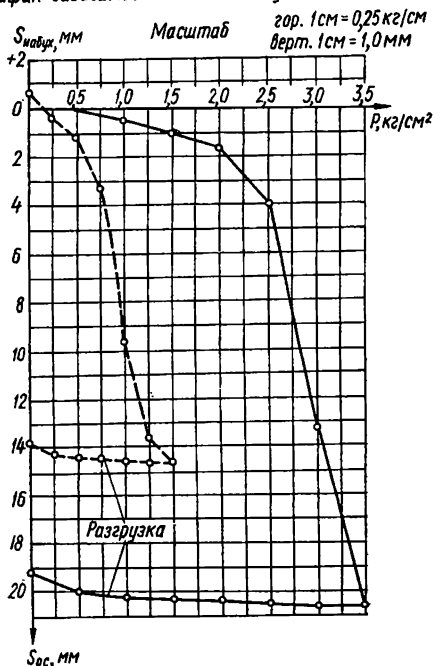
а

Геологический разрез шурфа N5^а
Масштаб 1: 200

Глубина от поверхности, м	Описание грунтов	Геологический разрез	Глубина залегания слоя, м		Толщина слоя, м	Сверления о. доб., м	Глубина установки штампа, м
			от	до			
0,0	Почвенно-растительный слой		0,0	0,50	0,50		
0,50	Суглинок палео-желтый, средний до тяжелого, лессовидный, средней плотности, карбонатный, макропористый, с включением гнезд гипса		0,50	10,0	9,50		2,0

б

График зависимости осадки S от удельного давления P



в

а) При естественной влажности

Диаметр штампа, см	Удельное давление, кг/см ²	Полная нагрузка на штамп, кг	Начало наблюдения	Окончание наблюдения	Общая продолжительность наблюдения, ч	Продолжительность стабилизации, ч	Стабилизированная осадка, см	
79,8 см, круглый	Предварительное уплотнение грунта до бытового давления	Нагрузка	0,5	2500	$\frac{15.X}{19-00}$	$\frac{16.X}{4-00}$	9 9	0,005
			1,0	5000	$\frac{16.X}{4-00}$	$\frac{16.X}{15-00}$	11 5	0,052
			1,5	7500	$\frac{16.X}{15-00}$	$\frac{16.X}{24-00}$	9 5	0,097
			2,0	10000	$\frac{16.X}{24-00}$	$\frac{17.X}{15-00}$	15 5	0,175
			2,5	12500	$\frac{17.X}{15-00}$	$\frac{18.X}{4-00}$	13 5	0,405
			3,0	15000	$\frac{18.X}{4-00}$	$\frac{19.X}{9-00}$	29 4	1,325

б) С искусственным замачиванием

Удельное давление, кг/см ²	Полная нагрузка на штамп, кг	Начало наблюдения	Окончание наблюдения	Общая продолжительность наблюдения, ч	Продолжительность стабилизации, ч	Стабилизированная осадка, см		
79,8 см, круглый	Нагрузка при замачивании	Замачивание	0,00	0	$\frac{12.XII}{15-00}$	$\frac{14.XII}{15-00}$	48 4	+0,058
			0,25	1250	$\frac{14.XII}{23-00}$	$\frac{15.XII}{12-00}$	8 6	0,020
			0,5	2500	$\frac{14.XII}{23-00}$	$\frac{14.XII}{12-00}$	13 2	0,105
			0,75	3750	$\frac{15.XII}{12-00}$	$\frac{16.XII}{7-00}$	19 5	0,320
			1,00	5000	$\frac{10.XII}{7-00}$	$\frac{17.XII}{7-00}$	24 —	0,962
			1,25	6250	$\frac{17.XII}{7-00}$	$\frac{18.XII}{8-00}$	23 —	1,362

<i>Разгрузка</i>						
3,5	17500	$\frac{19.X}{9-00}$	$\frac{20.X}{11-00}$	26	—	2,067
3,0	15000	$\frac{20.X}{11-00}$	$\frac{20.X}{12-00}$	1	—	2,065
2,5	12500	$\frac{20.X}{12-00}$	$\frac{20.X}{13-00}$	1	—	2,057
2,0	10000	$\frac{20.X}{13-00}$	$\frac{20.X}{14-00}$	1	—	2,045
1,5	7500	$\frac{20.X}{14-00}$	$\frac{20.X}{15-00}$	1	—	2,037
1,0	5000	$\frac{20.X}{15-00}$	$\frac{20.X}{16-00}$	1	—	2,015
0,5	2500	$\frac{20.X}{16-00}$	$\frac{20.X}{17-00}$	1	—	1,995
0	0	$\frac{20.VIII}{17-00}$	$\frac{20.VIII}{20-00}$	3	—	1,925

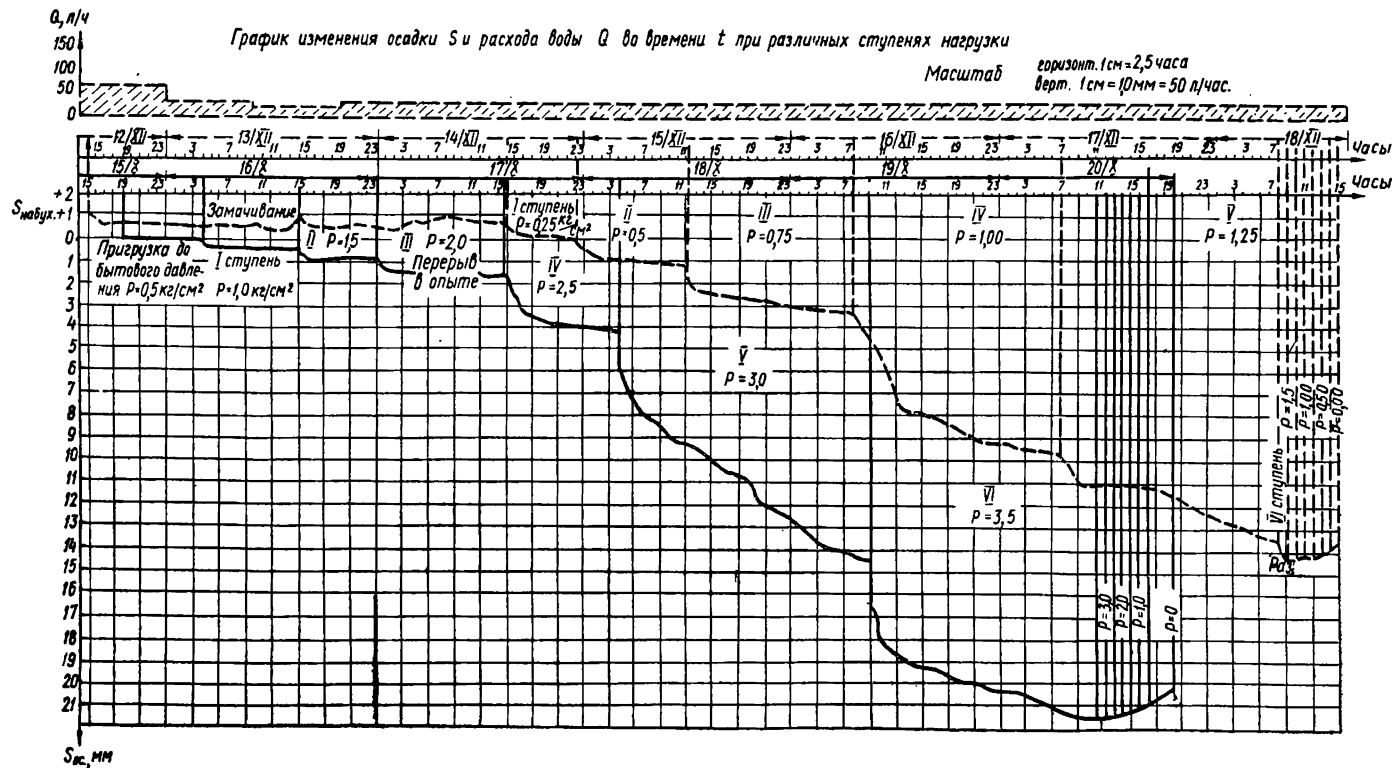
Упругая деформация — 0,022 см

<i>Разгрузка</i>						
1,50	8750	$\frac{18.XII}{8-00}$	$\frac{18.XII}{9-00}$	1	—	1,450
1,50	7500	$\frac{18.XII}{9-00}$	$\frac{18.XII}{10-00}$	1	—	1,460
1,25	6250	$\frac{18.XII}{10-00}$	$\frac{18.XII}{11-00}$	1	—	1,452
1,00	5000	$\frac{18.XII}{11-00}$	$\frac{18.XII}{12-00}$	1	—	1,447
0,75	3750	$\frac{18.XII}{12-00}$	$\frac{18.XII}{13-00}$	1	—	1,442
0,50	2500	$\frac{13.XII}{13-00}$	$\frac{18.XII}{14-00}$	1	—	1,432
0,25	1250	$\frac{15.XII}{14-00}$	$\frac{15.XII}{15-00}$	1	—	1,407
0,00	0	$\frac{18.XII}{15-00}$	$\frac{18.XII}{16-00}$	1	—	1,300

Упругая деформация — 0,080 см

Таблица результатов определений физико-механических свойств грунтов

Глубина опробования, м	Результаты лабораторных испытаний																	Результаты полевых испытаний						
	Грансостав, проц., фракции, мм				Естественная влажность, проц.	Пределы пластичности			Удельный вес, г/см ³	Объемный вес, г/см ³		Пористость, проц.	Коэффициент пористости	Степень влажности G	Консистенция B	Угол внутреннего трения, град	Удельное сцепление, кг/см ²	Модуль деформации, кг/см ²	Предел пропорциональности R пр	Осадка при R пр S пр, см	Бытовое давление, R быт, кг/см ²	Осадка при R быт см	Модуль деформации, кг/см ²	
	>20	2,0—0,05	0,05—0,005	<0,005		W _T	W _P	W _П		естественный	скелета													
	<i>До опыта</i>																							
2,0—2,2	—	25	58,2	16,8	15	3,5	19	16	2,69	1,62	1,41	41,2	0,910	0,443	0	18	0,275	70						
	<i>После опыта</i>																							
2,0—2,2	—	—	—	—	16	32	18	14	2,68	1,72	1,48	44,8	0,811	0,529	0	21	0,200	100	2,0	0,175	0,5	0,005	500	
	<i>После опыта с замачиванием</i>																							
2,0—2,2	—	—	—	—	33	—	—	—	2,69	1,91	1,44	46,5	0,869	1,0	—	23	0,313	62	1,0	0,305	0,50	0,132	160	
	<i>При естественной влажности</i>																							
	<i>С замачиванием</i>																							



Первая страница журнала

Организация _____ Объект _____
 Экспедиция _____ Участок _____ Тема № _____
 Партия (отряд) _____ Схема расположения точки зондирования
 Журнал № _____
 динамического зондирования
 пробоотборником в точке № _____
 Абсолютная отметка $H =$ _____
 Координаты $X =$ _____ $Y =$ _____
 Местоположение _____
 Элемент рельефа _____
 Дата испытания _____ конечная глубина зондирования

Сведения о зондировании

Тип установки	Молот		Пробоотборник				Штанги		Метод зондирования
	Вес, кг	Высота падения, м	Диаметр, мм		Длина, м	Вес, кг	Диаметр, мм	Вес I м, кг	
			внешний	внутренний					

Нашедшего журнал просим вернуть по адресу _____

Вторая и последующая страницы журнала

Интервал глубины погружения пробоотборника на 30 см		Число ударов для погружения пробоотборника на каждые 10 см П, уд/дм	Коэффициент изменения веса зонда с глубиной α	Приведенный показатель динамического зондирования П пр, уд/дм	Осредненный показатель в интервале 30 см П пр, уд/дм	Литологическое описание грунта в интервале зондирования
от устья скважины	в абсолютных отметках, м					

В журнале прошнуровано _____ стр.

Заполнено _____ стр.

Журнал проверен „ _____ “ _____ 197 _____ г.

Замечания _____

Журнал принят „ _____ “ _____ 197 _____ г.

Исполнитель _____

Начальник экспедиции
 (должность, фамилия, и. о.)

Журнал динамического зондирования конусом

Номер штанг	Отсчет по рейке, см	Число ударов в залог, n	Глубина погружения конуса за залог, см	Общая нарастающая глубина погружения конуса, м	Поправочный коэффициент на вес и трение	Приведенное количество ударов в залог	Показатель динамического зондирования или уд/дм	Удельное динамическое сопротивление или кг/см ²

В случае непосредственного счета ударов на 1 дм погружения зонда удобно пользоваться следующей формой второй и последующих страниц журнала:

Показатель динамического зондирования N , уд/дм, на глубине											Примечание	
Дециметры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
Метры												
0												
1												
2												
3												

Журнал статического зондирования

Глубина зондирования, м	Показания манометра	Общее сопротивление грунта, кг	Показание мессуры динамометра	Лобовое сопротивление грунта, кг	Удельное сопротивление грунта прониканию конического накопника, кг/см ²	Сопротивление грунтов на боковой поверхности зонда, т

Примечание. В приложениях IV и V приводятся формы вторых и последующих страниц журналов.

Значение поправочных коэффициентов K и a

Зондировочное оборудование	Интервалы глубины зондирования, м	Поправочный коэффициент на потерю энергии при ударе K при использовании установок			Коэффициент изменения веса зонда a для УПБ-15, НАП-10 и ПДПМ
		УБП-15м	НАП-10	ПДПМ-4	
Легкое	0,0—1,5	0,52	0,61	0,49	1,00
	1,5—4,0	0,49	0,57	0,47	0,95
	4—8	0,47	0,52	0,45	0,90
	8—12	0,45	0,48	0,43	0,85
	12—16	0,43	0,45	0,41	0,80
	16—20	0,41	0,42	0,40	0,75

Продолжение приложения VI

Зондировочное оборудование	Интервалы глубины зондирования, м	Поправочный коэффициент на потерю энергии при ударе K при использовании установки			Коэффициент изменения веса зонда α для УПБ-15, НАП-10 и ПДПМ
		УБП-15м	НАП-10	ПДПМ-4	
Стандартное	0,0—1,5	0,65	0,75	0,60	1,00
	1,5—4	0,62	0,71	0,57	0,95
	4—8	0,58	0,67	0,54	0,90
	8—12	0,55	0,64	0,51	0,85
	12—16	0,52	0,60	0,48	0,80
	16—20	0,49	0,56	0,45	0,75
Тяжелое	0,0—1,5	0,75	0,83	0,71	1,00
	1,5—4	0,72	0,79	0,68	0,95
	4—8	0,69	0,75	0,66	0,90
	8—12	0,66	0,71	0,63	0,85
	12—16	0,63	0,67	0,61	0,80
	16—20	0,60	0,63	0,58	0,75

Примечание. По данным института ПНИИИС Госстроя СССР.

Приложение VII

Величины нормированного отклонения t и значение расчетной величины

$$\frac{t}{\sqrt{n}} \text{ при вероятностях } 0,90; 0,95; 0,99$$

Число повторности n	\sqrt{n}	0,90		0,95		0,99	
		t	$\frac{t}{\sqrt{n}}$	t	$\frac{t}{\sqrt{n}}$	t	$\frac{t}{\sqrt{n}}$
2	1,41	6,31	4,48	12,71	9,02	63,66	45,10
4	2,00	2,35	1,18	3,18	1,59	5,84	2,92
6	2,45	2,01	0,82	2,57	1,05	4,03	1,65
8	2,83	1,89	0,67	2,36	0,84	3,50	1,24
10	3,16	1,83	0,58	2,26	0,72	3,25	1,03
12	3,46	1,80	0,52	2,20	0,64	3,11	0,90
14	3,74	1,77	0,47	2,16	0,58	3,08	0,80
16	4,00	1,75	0,44	2,13	0,53	2,95	0,74
18	4,24	1,74	0,41	2,11	0,50	2,90	0,68
20	4,47	1,73	0,39	2,09	0,47	2,86	0,64
22	4,69	1,72	0,37	2,08	0,44	2,83	0,60
24	4,90	1,71	0,35	2,07	0,42	2,81	0,57
26	5,10	1,71	0,33	2,06	0,40	2,79	0,54
28	5,29	1,70	0,32	2,05	0,38	2,77	0,52
30	5,48	1,69	0,31	2,04	0,37	2,75	0,50
∞		1,64		1,96		2,58	

Примечание. Заимствовано из [12] с сокращением.

Значение поправочного коэффициента λ_j

Глубина слоя, м	Удельное сопротивление по боковой поверхности зонда f_j , т/м ²													
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20

Для свай длиной 4 м

1	0,50	0,25	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11	0,09	0,08
2	0,50	0,44	0,40	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,23	0,22	0,19	0,17	0,16
3	0,50	0,47	0,45	0,43	0,42	0,40	0,39	0,38	0,37	0,36	0,35	0,34	0,33	0,32
4	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Для свай длиной 5 м

1	0,50	0,18	0,16	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07
2	0,50	0,37	0,33	0,30	0,27	0,25	0,24	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16	0,15	0,13
3	0,50	0,45	0,40	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16
4	0,50	0,48	0,46	0,45	0,44	0,44	0,43	0,42	0,42	0,41	0,40	0,40	0,39	0,38
5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Для свай длиной 6 м и более

1	0,50	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05
2	0,50	0,30	0,26	0,23	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,14	0,13	0,12	0,11
3 ÷ (l-3)	0,50	0,43	0,40	0,36	0,33	0,31	0,29	0,27	0,26	0,23	0,22	0,20	0,18	0,16
l-2	0,50	0,46	0,43	0,41	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31	0,30	0,28	0,27
l-1	0,50	0,48	0,47	0,45	0,44	0,44	0,43	0,43	0,42	0,41	0,40	0,40	0,39	0,38
l	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Краткая техническая характеристика некоторых зондировочных установок

А. Установки для динамического зондирования

Техническая характеристика	УБП-15м	НАП-10 к станку БУЛИЗ-15	Приставка ПДПМ к стан- ку УГБ-50А
Максимальная глубина зондирования, м	20	15	20
Штанги Ø 42 мм. Длина звена, мм	1500	800	1500
Вес звена, кг	8,9	4,0	8,9
Конические наконечники Ø 74 мм и углом при вершине 60°, весом, кг			
съемные	1	1	1
несъемные	2	2	2
Вес опорной рамы молота, кг	57,0	90,0	133,0
Вес молота, кг	60	60	60
Высота падения молота, см	80	80	80
Габариты установки в транспортном положении, м			
длина	4,05	4,20	8,00
высота	2,27	2,75	3,00
ширина	1,85	2,5	2,00
Вес установки, кг	1100	850	5100

Б. Установки для статического зондирования

Техническая характеристика	С-979	Приставка ПСПМ-4	С-832	Приставка ЦНИИС
Конус зонда:				
диаметр основания, мм	36	36	36	36
площадь основания, см ²	10	10	10	10
угол при вершине, град	60	60	60	60
Штанга зонда:				
диаметр наружной трубы, мм	36/20	36	—	36
диаметр рабочего (нерабочего) участка, мм	—	—	36 (34)	—
диаметр внутреннего стержня, мм	18	16	—	—
длина рабочего участка, см	—	—	31	—
площадь поверхности, см ²	—	—	350	—
длина звена, м	1	1	—	1
Предельные величины усилий в т, при				
проникании конуса	5	5	5	5
то же зонда в целом	10	10	10	10
извлечения зонда	10	10	10	7,5
Скорость, м/мин:				
вдавливание зонда	0,25—0,5	0,25—0,5	0,008—3	0,2—0,5
извлечение зонда	0,65—2	0,5—2,5	0,008—3	0,3—0,5
Максимальная глубина зондирования, м	15	15	21	20

Техническая характеристика	С-979	Приставка ПСПМ-4	С-832	Приставка ЦНИИС
Габариты установки в рабочем (транспортном) положении, м				
высота	3,4 (1,15)	8,0 (3,0)	(3,6)	1,4
ширина	1,15 (1,15)	(2,0)	(2,17)	0,25
длина (в рабочем положении без насосной станции)	1,5 (4,89)	(7,2)	(11,45)	1,7
Вес установки (без насосной станции и автомашины), кг	330	340	2600	110

Приложение X

Область применения динамического и статического зондирования в зависимости от видов и состояния грунтов

№ п.п.	Виды и состояние грунтов	Способ зондирования	
		динамический	статический
1 2 3	Все виды грунтов в мерзлом состоянии Скальные Крупнообломочные	Не допускается	
4	Песчаные и глинистые с содержанием крупнообломочных материалов V_0 в %	Не допускается при V_0 более 40%	при V_0 более 25%
5	Песчаные: а) крупные, средней крупности, мелкие и пылеватые (влажные и маловлажные) б) крупные, средней крупности и мелкие (водонасыщенные) в) пылеватые (водонасыщенные)	Допускается	
		Не допускается *	Допускается
6	Глинистые (суглинки и глины) по консистенции: а) твердые, полутвердые и тугопластичные б) мягкопластичные, текучепластичные и текучие	Допускается	
		Не допускается *	Допускается
7	Песчаные водонасыщенные	При определении динамической устойчивости	
		Допускается	Не допускается

* Допускается по специально разработанной методике при проведении экспериментальных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бондарик Г. К.* Пример интерпретации результатов динамического зондирования отложений ледникового комплекса. Сб. «Вопросы инженерной геологии». Тр. ВСЕГИНГЕО (ротопринтная серия № 26). М., 1964.
2. *Бондарик Г. К.* Динамическое и статическое зондирование грунтов в инженерной геологии. Тр. ВСЕГИНГЕО. Новая серия № 8. М., «Недра», 1964.
3. *Бондарик Г. К., Комаров И. С., Ферронский В. И.* Полевые методы инженерно-геологических исследований. М., «Недра», 1967.
4. Временная инструкция по определению несущей способности свай методом статического зондирования установкой С-832. Изд. МПС СССР, БашНИИстрой, ЦБТИ. М., 1969.
5. *Дуранте В. А.* Исследование плотности сложения песков забивными зондами. Гидропроект. Информационный листок № 9. М., 1954.
6. *Колесник Г. С.* Определение несущей способности свай по результатам статического зондирования. Автореферат кандидатской диссертации. Одесса, 1972.
7. *Коломенский Н. В.* Основные задачи и принципы инженерно-геологического опробования горных пород «Труды совещания по инженерно-геологическим свойствам горных пород и методам их изучения». М., Изд-во АН СССР, 1956.
8. *Комаров И. С.* Накопление и обработка информации при инженерно-геологических исследованиях. М., «Недра», 1972.
9. *Маливанченко П. И., Чалый Г. Т.* Опыт внедрения установок конструкции Киевгипротранса для динамического зондирования. Сб. ПНИИИС «Полевые методы исследований грунтов». М., 1969.
10. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Т. I—II. М., Изд-во МГУ, 1968.
11. *Разоренов В. Ф.* Пенетрационные испытания грунтов М., Стройиздат, 1968.
12. *Роде А. А.* Метод изучения водного режима почв. М., Изд-во АН СССР, 1960.
13. *Рубинштейн А. Я.* Об интерпретации данных динамического зондирования. Сб. ПНИИИС «Полевые методы исследований грунтов». М., 1969.
14. *Трофименко Ю. Г., Воробков Л. Н., Смирницкий А. И., Бенедиктов А. А.* Полевые методы исследований строительных свойств грунтов. М., Стройиздат, 1964.
15. Указания по зондированию грунтов для строительства СН—448—72. М., 1973.
16. *Хазанов М. И., Черняк Э. Р.* К вопросу расчленения геологического разреза по результатам зондирования. Сб. ПНИИИС «Полевые методы исследований грунтов». М., 1969.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Глава I. Испытания сжимаемости грунтов штампами	5
§ 1. Деформативные свойства грунтов	5
§ 2. Метод полевых исследований грунтов штампами .	8
Основная задача и возможности метода	8
Принципиальная схема опыта	9
Рабочие параметры опыта	10
Выбор рабочих параметров опыта	10
Нагрузка штампа и замер осадок	15
Выбор места установки штампа	18
§ 3. Технология работ	21
Подготовка основания и опробование	21
Монтаж оборудования с завершающими операциями по предохранению и подготовке основания	24
Собственно опыт	43
Демонтаж оборудования и опробование основания после опыта	47
§ 4. Камеральная обработка материалов	47
Полевая обработка материалов	48
Окончательная камеральная обработка материалов .	55
§ 5. Основные правила безопасного ведения работ . .	59
Глава II. Динамическое и статическое зондирование грунтов	61
§ 1. Общие сведения	61
§ 2. Схема и объем зондировочных испытаний	63
§ 3. Динамическое зондирование	66
Динамическое зондирование пробоотборником	67
Динамическое зондирование конусом	68
Способы регистрации результатов динамического зон- дирования	71
§ 4. Статическое зондирование	74
Основные параметры установок и методика проведе- ния статического зондирования	75
Способы регистрации результатов статического зон- дирования	77
§ 5. Обработка и интерпретация результатов испытаний грунтов зондированием	80
Первичная полевая обработка результатов зондиро- вания	81
Окончательная камеральная обработка и интерпре- тация результатов зондирования	86
§ 6. Определение несущей способности свай зондирова- нием	106

§ 7. Конструкции зондировочных установок и основные правила техники безопасности при производстве работ	109
Глава III. Таблицы готовых решений по данным испытания грунтов статическими нагрузками и статическим зондированием	113
§ 1. Указания по пользованию таблицами	113
§ 2. Таблицы значений модуля общей деформации по данным полевых испытаний грунтов статическими нагрузками (площадь штампа — 5000 см ²)	115
§ 3. Таблицы поправок к осадкам штампа от сжатия труб при испытании грунтов статическими нагрузками в буровых скважинах	122
§ 4. Таблицы значений расчетного сопротивления свай по данным статического зондирования	126

*Борис Львович Гохфельд,
Георгий Владимирович Жорник*

ПОЛЕВЫЕ МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ

Редактор *А. И. Соловьева*
Обложка художника *О. Ю. Оловяникова*
Художественный редактор *Н. С. Величко*
Технический редактор *И. Ф. Двойнина*
Корректор *Г. Г. Петровская*

БФ 05584. Сдано в набор 26. II. 1973 г. Подписано к печати 10. V. 1973 г.
Бумага типографская № 2. Формат 60×90^{1/16}—4,75 бумажных, 9,5 физ. и
усл. печ. л., 10,36 уч.-изд. л. Тираж 5000. Цена 62 коп. Зак. 429.

Издательство «Будівельник», Киев, Владимирская, 24.
Киевская фабрика печатной рекламы, Киев, Выборгская, 84.