ГОССТРОЙ РОССИИ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ФЕДЕРАЛЬНОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ "НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ, ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ИМЕНИ Н.М.ГЕРСЕВАНОВА" (ГУП НИИОСП им. Н.М.ГЕРСЕВАНОВА)

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ГУП НИИОСП
им. Н.М.Герсеванова
_____ В.А. Ильичев
«___» _____ 2002 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по проведению полевых испытаний свай в сооружениях ПГС методом ЭЛДИ с применением ударной нагрузки

Ответственные исполнители:

Заведующий лабораторией,
доктор техн. наук, профессор — Б.В.Бахолдин

Ведущий научный сотрудник,
канд. техн. наук — П.И. Ястребов

Инженер — А.В. Драницын

Москва-2002

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1.	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	5
2.	ПРИНЦИПЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ЭЛДИ	6
3.	НАГРУЖАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ	7
4.	ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА	9
5.	ПОДГОТОВКА СВАЙ К ИСПЫТАНИЯМ	10
6.	ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ УДАРНОЙ НАГРУЗКОЙ	11
7.	ОБРАБОТКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ	11
8.	ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ	13
9.	ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ПРИЕМКА РАБОТ	15
10.	ПРИЛОЖЕНИЯ	17
	1. Заключение. Анализ экспериментально-теоретических основ и практических результатов испытаний свай по методу ЭЛДИ.— М., НИИОСП, 2000	18
	2. Разработка методических рекомендаций по испытаниям свай ударной нагрузкой по методу ЭЛДИ с учетом специфики ПГС. Технический отчет по договору № 1-21-01. М., НИИОСП, 2001	22

ПРЕДИСЛОВИЕ

Практика возведения фундаментов различного назначения на объектах промышленно-гражданского строительства направлена в настоящее время на применение свай большой мощности, несущие способности которых по грунту достигают 1000 и более тонн. При уменьшении количества свай в сооружениях это снижает материалоемкость и трудовые затраты строительства, сокращает его сроки и окупаемость. Вместе с тем значительно возрастает роль полевых испытаний свай, проводимых для обоснования целесообразности, подтверждения надежности и качества принимаемых конструктивно-технологических решений фундаментов.

Производство полевых испытаний свай регламентировано сегодня в России требованиями ГОСТ 5686 и СНиП 2.02.03-85. Испытания проводятся на стадиях инженерных изысканий, проектирования и строительства объектов. Сваи нагружаются в специальных стендах статическими нагрузками до исчерпания сопротивляемости конструкций (статические испытания) или динамическими нагрузками стандартных погружающих средств ударного или вибрационного действия с расчетом несущей способности свай по наблюдаемым отказам, вводимым в формулы теории затухающих колебаний (динамические испытания).

Статические испытания, реализующие данные прямых наблюдений, дают наиболее достоверную информацию о несущей способности свай, однако, чрезвычайно трудоемки и продолжительны во времени, сопряжены с техническими трудностями приложения и реактивного восприятия испытательных нагрузок. В силу разрушающего характера испытаний сваи не всегда могут быть использованы в дальнейшем при эксплуатации сооружений, подлежат выбраковке.

Динамические испытания - более оперативны, менее трудоемки, чем статические. После проведения испытаний сваи не выбраковываются. К сожалению, получаемые результаты несущей способности свай в большинстве случаев недостаточно хорошо согласуются с результатами статических испытаний, оказываются приближенными, поскольку при обработке расчетных формул весьма трудно учесть все физические процессы, связанные с работой свай в реальном массиве грунта на базе только наблюдаемых отказов.

Существенным недостатком обоих видов испытаний является также отсутствие сведений о распределении несущих способностей по боковым поверхностям и подошвам конструкций, практическая невозможность проведения испытаний свай, обладающих несущей способностью по грунту более 300-400 тс. Таким образом, информационная обеспеченность для свай большой мощности в настоящее время фактически отсутствует, надежность и качество фундаментов с применением таких свай требуют неотложного практического разрешения.

Указанных недостатков и несогласованностей в значительной мере оказывается возможным избежать за счет использования при испытаниях свай метода ЭЛДИ с применением ударной нагрузки. Этот метод представляет собой модифицированный для отечественных условий известный метод TNO, широко употребляемый за рубежом в последние 10-12 лет.

Метод испытания свай ЭЛДИ, разработанный в содружестве ГУП НИИОСП им. Н.М. Герсеванова, ОАО ЦНИИС, Компанией ISOTOP Ltd (Израиль) и фирмой «ЭЛГАД», прошел научно-техническую экспертизу и практическую апробацию на строительстве фундаментов III транспортного кольца и промышленно-гражданской инфраструктуры г. Москвы в 2000-2002 годах. Полученные результаты в высокой степени согласуются с результатами контрольных испытаний свай статической нагрузкой. Метод надежен, оперативен, достаточно экономичен. Мощность свай, подлежащих испытаниям, практически не ограничена Предоставляемая методом раздельная оценка несущей способности свай по их боковым поверхностям и подошвам обеспечивает возможность эффективного выбора наиболее целесообразных и рациональных конструктивно-технологических решений свайных фундаментов.

Настоящие «Методические рекомендации» разработаны в ГУП НИИОСП им. Н.М. Герсеванова на основе накопленного институтом лабораторного и производственного опыта испытания свай, по результатам исследований, выполненных институтом по договору № 1-21-01 от 16.05.2001 г. с ООО «ЭЛГАД Топ». «Методические рекомендации» выдаются для

практического применения, дополняют и конкретизируют в части производства динамических испытаний ранее разработанный и утвержденный «Технологический регламент проведения полевых испытаний несущей способности свай методом ЭЛДИ» (М., «ЦНИИС - НИИОСП им. Н.М. Герсеванова», 2001).

Разработка осуществлена коллективом авторов: ведущими специалистами ГУП НИИОСП им. Н.М. Герсеванова - зав. лабораторией доктором техн. наук, проф. Б.В. Бахолдиным и ведущим научным сотрудником, канд. техн. наук П.И. Ястребовым, инженером А.В. Драницыным, а также специалистами Объединения «ЭЛГАД» - канд. техн. наук В.В. Новаком, инж. Л.И. Алебастровой, Х. Дели, М. Шейнером.

Замечания и предложения по «Методическим рекомендациям» просим направлять по адресу: 109428, Москва, 2-я Институтская ул., 6, НИИОСП, Лаборатория № 1 «Свайные фундаменты».

Директор ГУП НИИОСП
им. Н.М. Герсеванова,
доктор техн. наук, профессор В.А. Ильичев

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящие Методические рекомендации определяют проведение полевых испытаний несущей способности свай методом ЭЛДИ с применением ударной нагрузки, включая подготовку конструкций, использование оборудования и измерительной аппаратуры, подачу испытательной нагрузки, получение и обработку информации, представление и сдачу - приемку результатов испытаний, а также технику безопасности и контроль качества работ в процессе их производства.

1.2. Методические рекомендации предназначены для использования при выполнении полевых испытаний свай всех видов, в том числе призматических, цилиндрических, свай-оболочек, с уширенной пятой, висячих, свай-столбов и других (далее свай), независимо от их материала, способа погружения или устройства в грунте (забивных, вибропогружаемых, буронабивных и т.п.), проводимых в комплексе проектно-изыскательских работ и контрольных испытаний при проектировании и возведении объектов промышленно-гражданского строительства (ПГС), а также транспортного и гидротехнического назначения.

1.3. Методические рекомендации разработаны в развитие действующих ГОСТ 5686 и СНиП 2.02.03-85 и «Технологического регламента проведения полевых испытаний несущей способности свай методом ЭЛДИ», распространяются на проведение испытаний свай, погруженных в любые грунты за исключением вечномерзлых, просадочных и набухающих, подверженных тектоническим изменениям или сейсмическим воздействиям, требующих специального изучения для научно-исследовательских целей.

1.4. При производстве работ с использованием настоящих Методических рекомендаций должны выполняться требования и указания следующих нормативных и научно-технических документов:

1.4.1. СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты»;

1.4.2. СНиП 2.02.01-83* «Основания зданий и сооружений»;

1.4.3. СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты»;

1.4.4. СНиП 3.06.04-91 «Мосты и трубы»;

1.4.5. СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия»;

1.4.6. СНиП 3.01.01-85 «Организация строительного производства»;

1.4.7. МГСН 2.07-97 «Основания, фундаменты и подземные сооружения»;

1.4.8. СП 11-105-97 «Инженерно-геологические изыскания для строительства»;

1.4.9. ГОСТ 5686 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями»";

1.4.10. Правила производства земляных и строительных работ, прокладки и переустройства инженерных сетей и коммуникаций в г. Москве. — Правительство Москвы. Постановление № 603 от 08.08.2000 г.;

1.4.11. Технологический регламент проведения полевых испытаний несущей способности свай методом ЭЛДИ. — М., «ЦНИИС - НИИОСП им. Герсеванова», 2001;

1.4.12. Методические рекомендации по проведению полевых испытаний свай методом ЭЛДИ. — М., «ЦНИИС», 2001.

1.5. Метод испытания свай ЭЛДИ, модифицирующий известную технологию TNO, прошел научно-техническую и практическую апробацию с положительной оценкой в НИИОСП им. Герсеванова и ОАО ЦНИИС, в том числе на строительстве свайных фундаментов промышленно-гражданской инфраструктуры и III транспортного кольца и г. Москвы. Это нашло отражение в следующих документах:

1.5.1. Анализ экспериментально-теоретических основ и практических результатов испытаний свай по методу ЭЛДИ. Заключение. — М., «НИИОСП им. Н.М. Герсеванова», 2000;

1.5.2. Научно-технический отчет по теме ИТА-2000-0110 "Адаптация и внедрение метода TNO испытания свай. — М., ЦНИИС, 2000;

1.5.3. О результатах анализа теоретических основ и достоверности результатов натурных измерений метода ЭЛДИ для статических и динамических испытаний буронабивных свай. Техническое заключение. — М., «ЦНИИС», 2000;

1.5.4. Разработка методических рекомендаций по испытаниям свай ударной нагрузкой по методу ЭЛДИ с учетом специфики ПГС. Технический отчет. — М., «НИИОСП им. Н.М. Герсеванова», 2001.

2. ПРИНЦИПЫ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ЭЛДИ

2.1. Метод испытания свай ЭЛДИ с применением ударной нагрузки предназначен для определения несущей способности и деформативности свай по грунту с оценкой составляющих по боковой поверхности и установлением зависимости перемещений свай в грунте от нагрузки путем их испытаний в условиях строительной площадки объекта (полевые испытания), проводимых в комплексе проектно-изыскательских работ и контрольных испытаний при строительстве, в том числе для сокращения требуемого количества статических испытаний свай.

2.2. Полевые испытания свай в методе ЭЛДИ производятся осевыми вдавливающими нагрузками, прикладываемыми к "головам" свай в виде ряда последовательных ударных воздействий. Испытания проводятся без нанесения ущерба работоспособности, прочности и несущей способности свай по специальным Программам, утверждаемым в установленном порядке.

2.3. Количество свай, подлежащих испытаниям, устанавливается Техническим заданием Проектной организации или Заказчиком объекта с учетом требований ГОСТ 5686 и СНиП 3.02.01-87 относительно общего количества испытываемых свай.

2.4. В процессе испытаний получают опосредованную (непрямую) информацию о состоянии материалов и поведении сваи в грунте в виде экспериментальных параметров прохождения ударной волны, инициируемой приложением к свае соответствующей ударной нагрузки. Работы по выполнению испытаний в методе ЭЛДИ реализуют косвенные методы наблюдений.

2.5. Взаимодействие свай с грунтом при производстве испытаний аппроксимируется расчетными моделями, содержащими пружины, демпферы и добавочные массы (Рис. 1).

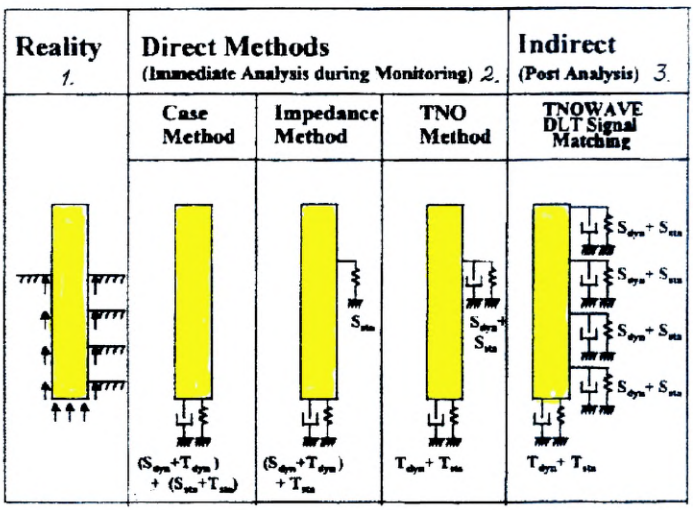


Рис. 1. Модели, аппроксимирующие взаимодействие свай с грунтом:
1 - реальное состояние; 2 - мониторинг в процессе испытаний; 3 - конечное состояние

2.6. Адаптация результатов испытаний свай в методе ЭЛДИ к искомым параметрам по п. 2.1 основана на теории распространения ударной волны в одноосном прямолинейном

стержне, находящемся в квазиупругой среде с координатами **x, z**, с решениями дифференциального уравнения второго порядка в частных производных (1) для перемещения ***u***:

$$A\sigma + dm\left(\partial^2 u / \partial t^2\right) = A\left[\sigma + \left(\partial^2 \sigma / \partial t^2\right)dx\right] \qquad (1)$$

которое после подстановки скорости распространения волны $c = (E/\rho)^{0,5}$ и необходимых преобразований получает вид (2):

$$\partial^2 u / \partial t^2 = 2c\left(\partial^2 u / \partial x^2\right) \qquad (2)$$

где А и σ - площадь и нормальное напряжение в поперечном сечении ствола сваи с погонной массой ***m*** и модулем Юнга упругости материала ***E*** на длине ***x*** в дискретные промежутки времени ***t.***

Решения преобразованного из (1) дифференциального уравнения (2), использующие наблюдаемые (измеренные) параметры распространения ударной волны в координатах **x** и **z** на полной длине сваи ***L*** при силах $F = -AE(\partial u/\partial t)$, приложенных к ней, для несущих способностей сваи R_{tot} - интегральной (общей) и S_{lat} - по боковой поверхности выражаются в следующем виде:

$$R_{tot} = F^{\downarrow}(t_{max}) + F^{\uparrow}(t_{max} + 2L/c); \qquad (3)$$

$$S_{lat} = 2F^{\uparrow}(t_{max} + 2uc) \qquad (4)$$

2.7. Параметры, определяющие сплошность материалов, длины и прочностные характеристики свай, используемые для решения уравнений по п. 2.6, вводятся в уравнения по результатам, например, акустического контроля, проводимого для каждой испытываемой сваи нормированными методами, которые должны быть согласованы с Заказчиком и Генеральным подрядчиком строительства объекта.

3. НАГРУЖАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ

3.1. Нагружающие устройства ударного действия в методе ЭЛДИ должны обеспечивать приложение к головам свай испытательных нагрузок, тарированных в заданном силовом и временном режимах при их центральном и соосном загружении.

3.2. При выполнении испытаний испытательная нагрузка интерпретируется серией ударов по головам свай, не приводящим к разрушению конструкций и потере их работоспособности (несущей способности).

3.3. Для проведения испытаний применяют установки-стенды, основным рабочим элементом которых является молот, сбрасываемый на головы испытываемых свай по направляющей штанге с заданной высоты. Головы свай снабжаются стальными опорными плитами (наковальнями), принимающими удары молота. Между плитами и молотом вводится демпфирующая прокладка из упругого материала, обеспечивающая гашение высокочастотной составляющей удара при испытаниях (Рис. 2).

3.4. Молот, предназначенный для проведения испытаний свай, должен свободно перемещаться по направляющей штанге. В конструкции молота следует предусматривать возможность изменения развиваемой энергии удара при обязательном удовлетворении следующих требований:

3.4.1. Несоосность перемещения молота относительно продольной оси сваи не допускается более 5° по высоте и 10 мм по горизонтали;

3.4.2. Осадка сваи от одного удара молота не должна превышать 7 мм при оптимальной величине 2 — 3 мм;

3.4.3. Высота сбрасывания (падения) и вес молота должны иметь возможность быть регулируемыми по необходимости.





Рис. 2. Нагружающее устройство и измерительные приборы для испытания свай в методе ЭЛДИ

3.5. При удовлетворении условий п.п. 3.2 и 3.4 в качестве нагружающего устройства для выполнения испытаний в методе ЭЛДИ могут также применяться другие установки, в том числе стандартные сваебойные средства согласно ГОСТ 5686.

4. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И РЕГИСТРИРУЮЩАЯ АППАРАТУРА

4.1. Измерительные приборы и регистрирующая аппаратура в методе ЭЛДИ обеспечивают получение и передачу на обработку в ПЭВМ информации (сигналов) о загружении свай, их состоянии и поведении в грунтовом массиве в процессе испытаний, включая данные о величинах подаваемых нагрузок, перемещениях конструкций и распределении напряжений в них, распространении ударной волны и т.п.

4.2. Типовое (обычное) использование и размещение измерительных приборов в испытываемых сваях приведено на Рис. 2 и в табл. 1. По условиям производимых работ допускается замена приборов на аналогичные приборы с теми же характеристиками.

Таблица 1

Типовое использование измерительных приборов в методе ЭЛДИ

№№ п/п	*Наименование измерительного прибора*	*Назначение измерительного прибора*	*Размещение измерительного прибора*	*Кол-во шт*
1.	Акселерометр	Скорость ударной волны	Бок. поверхность сваи*	2
2.	Тензодатчик VW Strain Gauge	Нормальные напряжения в свае	То же	2x2
3.	Нивелир в комплекте с рейкой	Осадка сваи	На расст. 3-5 м от сваи	1
4.	Термограф-автомат КСП-4	Температура воздуха, °С	То же	1

Примечания.

1. Поз. 4 допускается заменять на ртутные термометры со шкалой измерений от -50 до +50°С;

2. Поз. 1 и 2 монтируются в едином блоке с размещением (*) от верха сваи на расстоянии 2-3 наибольшего размера ее поперечного сечения (диаметра), но не менее 1,5 м.

4.3. Измерительные приборы по п. 4.2 должны быть предварительно тарированы. Перед использованием приборов на испытаниях следует произвести их внеочередную поверку. Классы точности - наибольшие погрешности измерительных приборов должны удовлетворять требованиям табл. 2.

Таблица 2

Классы точности и наибольшие погрешности измерительных приборов

№№ п/п	*Наименование измерительного прибора по п. 4.2.*	*Показатель точности - погрешности измерительного прибора*	*Нормируемая величина*
1.	Акселерометр	Диапазон линейной регистрации сигнала	1000÷7500 Гц
2.	Тензодатчик VW Strain Gauge	Погрешность измерения относит. деформаций	0,5x10-6
3.	Нивелир (в комплекте с рейкой)	Наибольшая погрешность измерения	0,5 мм
4.	Термограф-автомат КСП-4	Наибольшая погрешность измерения	0,5 %

4.4. Измерительные приборы, используемые для испытаний свай, должны быть защищены от непосредственного воздействия солнечных лучей (инсоляции), сильного ветра, песчаной пыли и атмосферных осадков.

4.5. Места размещения нивелиров должны быть изолированы от случайных толчков в процессе работы, а их конструкции - исключать возможность температурных и иных деформаций, в том числе вследствие консолидации и внутреннего сдвига грунтов.

4.6. Регистрирующая аппаратура в методе ЭЛДИ системы PDA, задействованная в комплексе с измерительными приборами табл. 1, включает в себя аналого-цифровой преобразователь (АЦП) сигналов и специализированный компьютер с эксклюзивным программным обеспечением PDA-W и CAPWAPE. Возможно также использование программ CASE, Impedance и WAVE DLT Signal Matching (см. Рис. 1).

4.7. В процессе производства испытаний система PDA записывает и обрабатывает сигналы, получаемые от измерительных приборов, выдает предварительные текущие результаты испытаний, которые используются при выполнении работы, в том числе для корректировки-регулирования энергии удара - высоты подъема молота по п. 3.4.

4.8. По окончании испытаний система PDA с помощью программы CAPWAP производит интегральную обработку полученной информации и представляет результаты испытаний в цифровом и графическом отображениях в виде следующих данных:

4.8.1. Статическое и динамическое сопротивление сваи с элементами зависимости (графиком) «нагрузка-осадка» по ступеням нагружения и во времени;

4.8.2. Наибольшее сжатие-растяжение сваи;

4.8.3. Несущая способность сваи на сжатие по грунту с распределением по острию (подошве) и боковой поверхности;

4.8.4. Передаваемая эффективная энергия и соосность удара;

4.8.5. Скорость распространения и затухания ударной волны.

4.9. Регистрирующая аппаратура по п. 4.6 должна устанавливаться на расстояниях не ближе 5 м от испытываемой сваи и 20 м от источников магнитного излучения.

Применяемые в методе ЭЛДИ электронные измерительные приборы и регистрирующая аппаратура могут эксплуатироваться при температурах наружного воздуха в диапазоне от минус 20 до плюс 65°С и его влажности от 45 до 95 %.

5. ПОДГОТОВКА СВАЙ К ИСПЫТАНИЯМ

5.1. Испытания свай в методе ЭЛДИ с применением ударной нагрузки выполняются при обнажении боковых поверхностей испытываемых свай на глубину от поверхности грунта (уровня приложения нагрузки) до 2,5d наибольшего размера поперечного сечения (диаметра) свай, но не менее 1,2 м.

5.2. Бетонные и железобетонные сваи, в том числе буронабивные, предназначенные для испытаний, не должны иметь трещин с раскрытием более 0,2 мм, а также сколов в бетоне, уменьшающих их поперечные сечения более чем на 15 %.

Прочность бетона свай к моменту их испытаний должна составлять не менее 80 % его проектной прочности по результатам испытаний контрольных кубов или с применением неразрушающих методов контроля по действующим нормативным документам.

5.3. Перед началом проведения испытаний необходимо последовательно выполнить следующие операции:

5.3.1. Обработать и усилить оголовок испытываемой сваи путем его зачистки и укладки на нем слоя материала толщиной до 80 см с прочностью на сжатие к моменту подачи на сваю ударной испытательной нагрузки не менее 40 МПа.

Материал (например, сталефибробетон) должен, как правило, обладать повышенной ударной вязкостью и сопротивляемостью на срез и растяжение.

Укладка материала усиления оголовка производится обычно внутри стальной обечайки-обоймы, надеваемой на голову сваи. Поверхность оголовка после усиления должна быть строго горизонтальной и ровной, пригодной для размещения на ней опорной плиты (наковальни) по п. 3.3.

Конструкция и материал усиления оголовка испытываемой сваи в любом случае должны быть рассчитаны на восприятие контактных напряжений удара $\sigma_к$ из условия:

$$\sigma_k \le 4\left[\left(Q \cdot H_м\right) : 3\left(\frac{L}{E_б} + \frac{2\delta}{E_п}\right) \cdot \left(1 + \frac{Q}{q}\right) A\right]^{0,5} \qquad (5)$$

где Q и q - вес молота и сваи длиной L при модуле упругости бетона $E_б$ и площади поперечного сечения A; $H_м$ - высота падения (сброса) молота; δ - толщина демпфирующей прокладки с модулем упругости $E_п$;

5.3.2. Разместить на боковой поверхности испытываемой сваи на расстоянии не ближе 20 см от нижнего обреза обечайки и не менее $2d$ от верха оголовка сваи 2-х диаметрально расположенных измерительных блоков, состоящих из приборов 1 и 2 по п. 4.2. Предварительно на боковой поверхности сваи должны быть устроены (зачищены) соответствующие опорные площадки. Измерительные блоки крепятся на теле сваи с помощью забуриваемых болтов, коммутируются и присоединяются к регистрирующей аппаратуре;

5.3.3. Произвести монтаж нагружающего устройства по п. 3.3, включая установку на голову (оголовник) сваи наковальни и молота на направляющей штанге с введением между молотом и наковальней демпфирующей прокладки из упругого материала. Наковальня крепится к оголовку сваи анкерными болтами;

5.3.4. Оборудовать на строительной площадке места для размещения нивелира, установить в зоне проведения испытаний термограф-автомат КСП-4 или ртутные термометры; Нивелир должен находиться в зоне свободного доступа, обеспечивать ясную видимость испытываемой сваи;

5.3.5. Произвести пробное включение измерительной системы с проверкой ее работоспособности по всей цепи получения (съема) и обработки испытательной информации, осуществить первое (начальное) нивелирования положения сваи.

6. ПРОВЕДЕНИЕ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ УДАРНОЙ НАГРУЗКОЙ

6.1. Испытания свай в методе ЭЛДИ последовательно включают в себя подачу ударной испытательной нагрузки по п. 3.3 на голову сваи, снятие и обработку испытательной информации, представление результатов испытаний.

6.2. Подача ударной испытательной нагрузки на голову сваи по п. 6.1 производится следующими друг за другом отдельными циклами:

6.2.1. Подъем молота на заранее определенную расчетом высоту;

6.2.2. Сброс молота по направляющей штанге, передача энергии удара молота на сваю;

6.2.3. Регистрация величины осадки сваи по нивелиру и сигналов, полученных от измерительных блоков по п. 4.2;

6.2.4. Компьютерная обработка полученной информации, принятие оперативного решения о высоте подъема молота в очередном цикле.

6.3. В ходе проведения испытания сваи высота подъема молота должна увеличиваться от цикла к циклу. Критерием завершения циклов подачи нагрузки и испытания в целом является получение качественных, четких сигналов от измерительных блоков по п. 4.2 при просадке сваи на 2-3 мм.

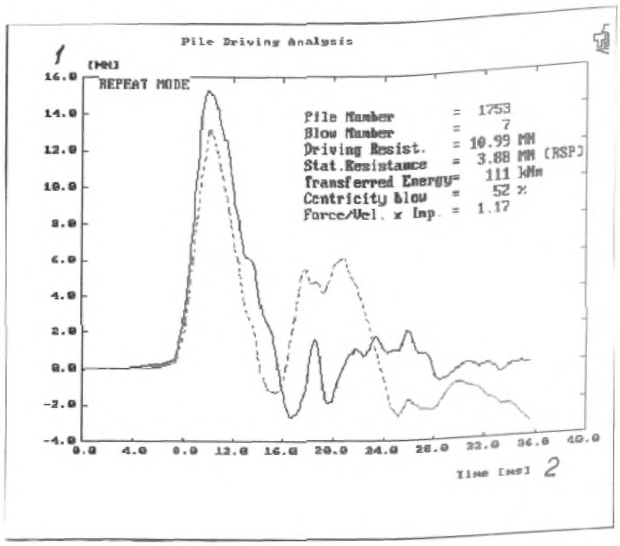
6.4. В процессе испытаний свай методом ЭЛДИ с применением ударной нагрузки следует вести «Журнал полевого испытания свай по методу ЭЛДИ» по аналогии с соответствующим «Журналом динамического испытания свай» по ГОСТ 5686.

Результаты испытаний оформляются в виде таблиц параметров свай по п. 2.1, диаграмм и графиков зависимостей осадок и скоростей перемещения свай во времени t от величин ударных нагрузок и энергии удара $S = f(P)$, в том числе по боковым поверхностям свай и на разных глубинах заложения h_i (Рис. 3).

7. ОБРАБОТКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

7.1. Результаты испытаний свай по п. 6.4 являются стандартными распечатками системы PDA, получаемыми в ходе обработки сигналов измерительной системы с помощью инверсионной многостадийной программы PDA-W и CAPWAPE при учете корреляций и моделирования по п. 2.5 на базе решения исходного дифференциального уравнения п. 2.6.





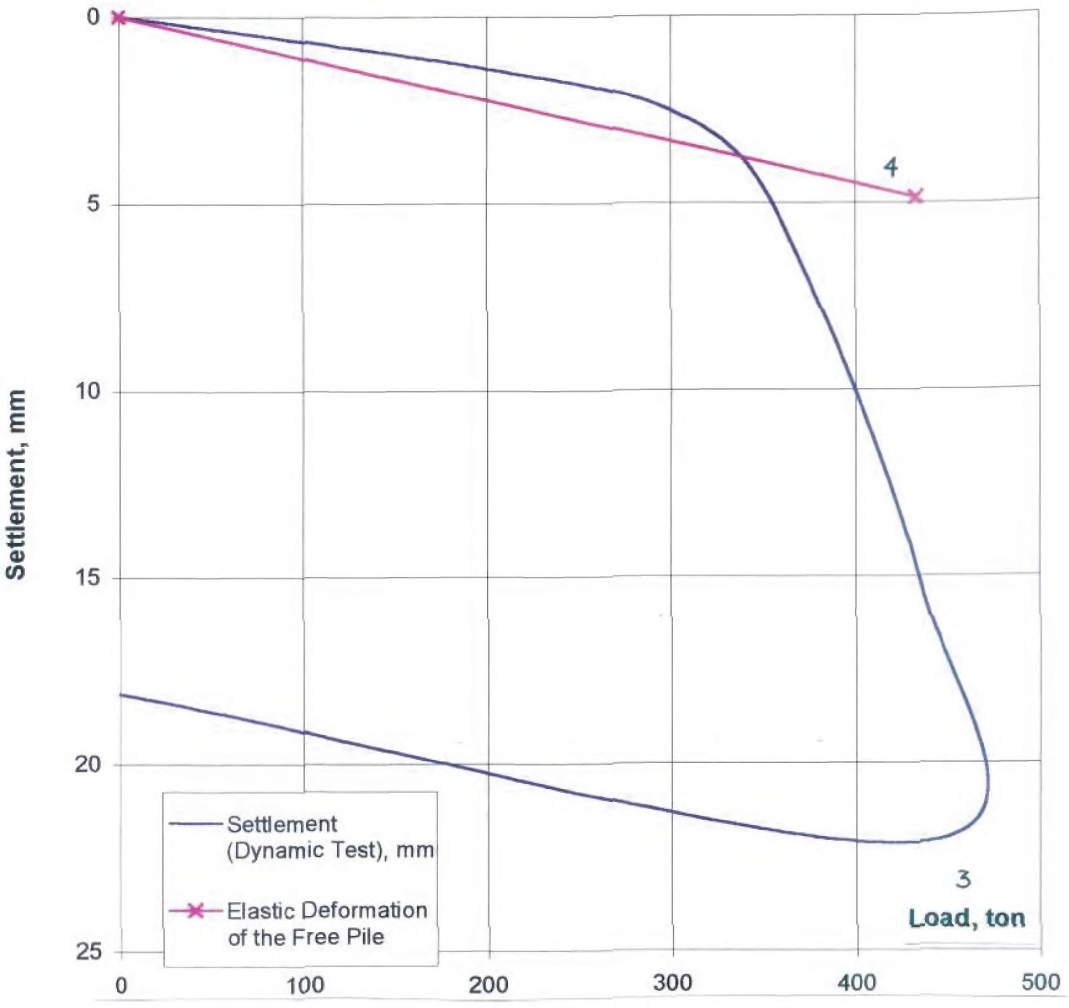


Рис. 3. Графики зависимостей скорости перемещения сваи от величины энергии удара а) и осадки сваи б) по результатам испытаний:
1 - осадка, мм; 2-время, 10^{-3} с; 3 - нагрузка, тс; 4 - упругая осадка

7.2. Несущие способности свай по грунту, входящие в комплекс параметров по п. 2.1, вычисляются программой CAPWAPE путем обработки графиков «осадка – нагрузка» $S = f(P)$ с использованием методов «шести мм» «касательных» и по методу предельной пластической деформации (Рис. 4):

7.2.1. По методу «шести мм» несущая способность сваи определяется абсциссой точки пересечения горизонтальной прямой, находящейся на уровне 6 мм от начала графика «осадка- нагрузка», с этим графиком;

7.2.2. По методу «касательных» несущая способность сваи определяется абсциссой точки пересечения касательных, проведенных к началу и наибольшему наполнению графика «осадка – нагрузка»;

7.2.3. По методу предельной пластической деформации несущая способность сваи определяется абсциссой точки пересечения прямой, параллельной линии упругой осадки сваи и расположенной в 10 мм от начала графика «осадка- нагрузка», с этим графиком.

7.3. За истинную (реальную) несущую способность сваи по грунту в методе ЭЛДИ принимается наибольшее значение, рассчитанное по программе CAPWAPE в соответствии с п. 7.2.

7.4. Результаты испытаний свай по методу ЭЛДИ должны быть представлены в виде Технических отчетов и Заключений, а также по формам ГОСТ 5686 в соответствии с требованиями Заказчика, Генерального подрядчика и Проектной организации объекта.

7.5. К техническим материалам испытания свай по методу ЭЛДИ в обязательном порядке должны быть приложены Акты и Заключения контролирующей (проектной) организации о результатах контроля каждой испытанной сваи на сплошность и неоднородность материала (бетона).

8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РАБОТ

8.1. Производство работ по настоящим Методическим рекомендациям следует вести с соблюдением требований следующих нормативных документов:

8.1.1. СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Общие требования»;

8.1.2. СНиП Ш-4-93 «Техника безопасности в строительстве»;

8.1.3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов машин. МПС РФ, Приказ № РБ ЦРБ-278 от 14.01.1994;

8.1.4. Правила производства земляных и строительных работ, прокладки и переустройства инженерных сетей и коммуникаций в г. Москве. Правительство Москвы. Постановление № 603 от 08.08.2000 г.

8.2. К работам, определенными настоящими Методическими рекомендациями, допускаются лица, сдавшие техминимум по производству работ и технике безопасности. До начала работ со всеми рабочими и ИТР, привлекаемыми к испытаниям свай, должен быть проведен конкретный инструктаж по порядку выполнения и безопасному ведению работ с записью под расписку в Журнале регистрации инструктажа на рабочем месте.

8.3. К началу производства работ по испытаниям свай все механизмы, оборудование, стропы и инвентарь должны быть освидетельствованы производителем работ и приняты им по Акту. В процессе производства работ за их состоянием и исправностью следует вести постоянный контроль. Использование кранов, не имеющих ограничителей грузоподъемности, запрещается.

Стальные канаты, такелажные и грузозахватные приспособления (стропы, траверсы и т.п.) должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.3.010.

8.4. Подключение электрических инструментов и оборудования должно выполняться только аттестованным электриком.

8.5. Эксплуатацию, перевозку, монтаж-демонтаж и испытания кранов и комплекса оборудования для испытания свай следует выполнять в соответствии с требованиями Инструкций по их использованию под непосредственным руководством аттестованного механика.

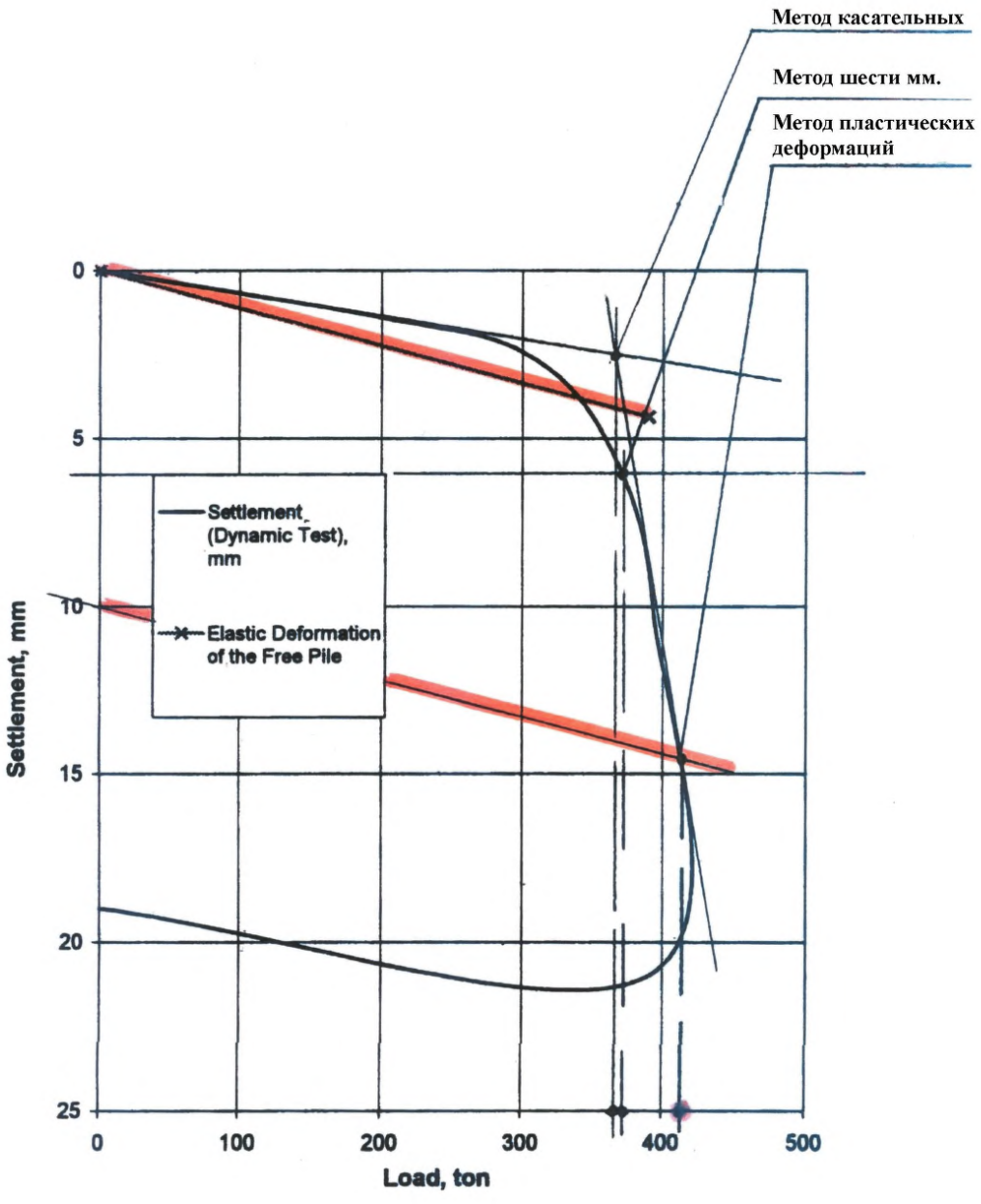


Рис. 4. Определение несущей способности сваи

Перед началом работы с краном и другой техникой необходимо убедиться в отсутствии линий электропередачи, связи и других коммуникаций в зонах работы механизмов.

8.6. Для выполнения работ по испытаниям свай должна быть установлена опасная зона работы оборудования и механизмов согласно нормам СНиП III-4-93, которая снабжается защитными ограждениями и надписями установленного образца. В процессе производства работ следует вести постоянный контроль за исправностью ограждений с записью в соответствующий Журнал производства работ. Нахождение посторонних лиц в зоне испытания свай запрещается.

8.7. В темное время суток рабочие площадки и места установки измерительных приборов должны иметь освещение достаточной интенсивности.

8.8. Во время производства работ всем привлекаемым к испытаниям свай рабочим и ИТР надлежит быть в защитных касках и спецодежде. Персонал, занятый на сверлении отверстий в сваях и зачистке площадок на них для установки измерительных приборов, должен пользоваться защитными очками.

8.9. Котлованы, устраиваемые для проведения динамических испытаний свай, должны иметь устойчивые откосы, снабжаться рабочими площадками, лестницами и сходами для беспрепятственного доступа к местам установки измерительных приборов и работы с ними.

8.10. Регистрирующая и обрабатывающая аппаратура, а также обслуживающий их персонал должны находиться в закрытых, освещаемых и отапливаемых (в случае необходимости) рабочих помещениях с температурой воздуха не ниже +17°С.

В процессе испытаний свай следует обеспечивать бесперебойное электропитание рабочих помещений и измерительных приборов. Электроэнергия, потребляемая аппаратурой и измерительными приборами, должна быть стабилизирована по току и напряжению.

8.11. Во время подачи ударной испытательной нагрузки (сброса молота на голову сваи) персонал должен находиться на расстоянии не менее 5 м от испытываемой сваи и вне зоны расположения и перемещения стрелы обслуживающего крана.

8.12. После каждого приложения ударной нагрузки испытываемая свая подлежит осмотру на предмет обнаружения трещин, сколов и других повреждений в ней. Одновременно должна производиться замена демпфирующей прокладки по п.п. 3.3 и 5.3.3.

В случае обнаружения повреждений сваи Руководитель испытаний принимает решение о прекращении или продолжении работ.

8.13. До начала производства испытаний свай по настоящим Методическим рекомендациям Производитель/Руководитель работ обязан получить соответствующий допуск- разрешение на их проведение, убедиться в том, что проводимые работы будут безопасны для окружающих зданий и сооружений, а также согласовать с Проектной организацией и Заказчиком строительства объекта количество и расположение свай, подлежащих испытаниям, утвердить Программу испытаний в соответствии с п. 2.2.

8.14. Ответственность за соблюдение и выполнение Правил техники безопасности работ и требований настоящего раздела Методических рекомендаций возлагается на Главного инженера строительного подразделения и Руководителя работ, проводящих испытания свай.

9. ТЕХНИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И ПРИЕМКА РАБОТ

9.1. Испытания свай по настоящим Методическим рекомендациям следует проводить по Программам, утверждаемым и согласуемым в установленном порядке с Заказчиком, Генподрядчиком и Проектной организацией строительства объекта.

9.2. В процессе подготовки и проведения испытаний свай должны контролироваться:

9.2.1. Надежность, безопасность и правильность эксплуатации нагружающих устройств, оборудования, измерительных приборов и аппаратуры, их соответствие требованиям настоящих Методических рекомендаций и условиям проведения испытаний по утвержденным Программам;

9.2.2. Физико-механическое состояние и готовность свай к проведению испытаний и восприятию испытательных нагрузок;

9.2.3. Электрообеспечение и работоспособность измерительных приборов, регистрирующей аппаратуры и компьютерной системы;

9.2.4. Уровень и устойчивость подачи испытательной нагрузки;

9.2.5. Адекватность съема, регистрации и обработки измерительной информации;

9.2.6. Безопасность проведения испытаний для окружающих зданий и сооружений.

9.3. Контроль качества и работоспособности оборудования, измерительных приборов и регистрирующей аппаратуры следует проводить в соответствии с требованиями ГОСТ 16263 «Государственная система единства измерений».

9.4. Метрологическое обслуживание измерительных приборов и регистрирующей аппаратуры для обеспечения требуемой точности измерений должно выполняться посредством систематических и внеплановых поверок. Отметки и замечания о поверках следует заносить в паспорта или специальный Журнал.

9.5. Ответственность за соблюдение требований настоящих Методических рекомендаций и качество производимых работ несут Главный инженер строительного подразделения и Руководитель работ, проводящие испытания свай.

9.6. Приемку законченных работ по испытаниям свай производят ответственные Представители Заказчика, Генерального подрядчика и Проектной организации строительства объекта.

Сдача-приемка законченных работ без предъявления надлежащим образом оформленного Акта испытаний (контроля) сплошности и неоднородности материала (бетона) каждой из испытанных свай не допускается.

10. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Заключение
Анализ экспериментально - теоретических основ и практических результатов испытаний свай по методу ЭЛДИ

Метод TNO [1], разрабатываемый с 70-х годов фирмой TNO (Голландия), примененный в России в опытном порядке на испытаниях буронабивных свай диаметром 800 и 1500 мм при строительстве фундаментов опор Тульской развязки в г. Москве в апреле 2000 г., получил название "ЭЛДИ". Необходимо отметить, что испытания, выполненные ЗАО "Элгад Интернэшнл" совместно с основным исполнителем — израильской фирмой "Изотоп", а также участниками ОАО ЦНИИС и НИИОСП, включали комплекс конструкторских и исследовательских работ и результаты испытаний изложены в «Отчете о полевых испытаниях буронабивных свай статической н динамической нагрузкой на объекте: Малая Тульская ул., д. 56, эстакады» (ISOTOP Ltd. Израиль, 2000 г.).

Исследования и испытания выполнены на зарубежной аппаратурной н программной базе, поскольку она, по сравнению с отечественной электроникой, адаптирована с методом ЭЛДИ и обеспечивает необходимый уровень исследований. Технологическое оборудование для испытаний свай проектировалось и изготавливалось «ЭЛГАД». Комплекс методик, приборов, программного обеспечения, технологического оборудования, использованный при научно-техническом сопровождении и адаптации ЭЛДИ, имеет ряд НОУ ХАУ.

За счет повышения класса точности приборов погрешности измерений были сведены к минимуму. Все измерения первичной и вторичной аппаратурой выполнялись (с помощью схемотехнических и программных методов) с учетом термокомпенсации, компенсации перекосов и др., что соответствует современным требованиям к полевым приборам и оборудованию [2, 3]. В частности, следует отметить, что при статических испытаниях сван № 7 в 17 опоре (реактивные сваи — № 2а и № 3а) и сваи № 34 в 16 опоре (реактивные сван — № 25 и № 24), реактивные сван были оборудованы сенсорами, которые фиксировали их перемещения с высокой точностью и это было частью испытательной системы.

Была соблюдена корректность и обеспечена достоверность результатов, полученных при статических испытаниях свай. Эти результаты были сопоставлены с экспертными расчетами несущей способности свай по данным статического зондирования, выполненного по методикам фирм AP Van den Berg, Fugro, НИИОСП и др. Эксперименты, связанные со статическими испытаниями, имеют не только научное, но н большое практическое значение, поскольку в России подобных исследований в таком объеме ранее не проводилось.

В электротехнике, акустике, радиоэлектронике и др. использование волновой теории получило широкое распространение. Теоретические основы метода TNO, заложенные (1855) Томсоном (лорд Кельвин), изучавшим электрические процессы в трансатлантическом кабеле и Кирхгофом (1857), который вывел уравнения в общем виде; было получено так называемое телеграфное уравнение. В строительстве использование волновой теории связано с сейсмикой и ударными нагрузками. Изучением удара в сыпи с разработкой эффективных средств поражения бронетехники занимался А.Ф. Иоффе перед и во время 2-й Мировой войны. Однако эти работы были закрытыми и не были завершены, вследствие изобретения кумулятивного заряда Продолжателем этого дела был В.Г. Грабин — Главный конструктор артиллерии во время войны, руководивший в 50-60-х годах в МВТУ нм. Н.Э. Баумана исследованиями по обработке металла выстрелом. Волновая теория удара нашла применение при разработке эффективных средств проходки в горной отрасли — «Прикладная теория и расчеты ударных систем» [4]. Это стало началом использования волновой теории как инструмента при исследовании материалов, в том числе горных пород, грунтов.

Уравнения теории упругости, связывающие напряжения н перемещения [1], лежат в основе изучения удара. Одна из попыток описания процесса динамического зондирования на основе волновой теории была сделана в НИИОСП [6].

Использование волновой теории для исследования различных конструкций фундаментов в НИИОСП выполнялось под руководством В.А. Ильичева [7, 8].

Экспериментально-теоретические основы метода оценки зависимости осадок свай от нагрузки по данным их динамических испытаний были разработаны в НИИОСП в 1966-69 гг. [9, 10].

Теоретические предпосылки метода TNO изложены в отчете [11], указан достаточно широкий спектр решаемых задач, в том числе уточнение статических н динамических параметров грунтов в геологических разрезах, оценка необходимых параметров грунтов основания для дальнейших расчетов свай любых диаметров. Что касается динамических и статических параметров, определяемых динамическим зондированием, то оно не обладает большими возможностями, особенно для статических параметров грунтов [6, 12], так как нет корректного эквивалента между статикой и динамикой.

В методе TNO используется упругая или упруго-вязкая модель грунта. Последние исследования показали, что грунты, как впрочем и бетоны обладают дискретностью. Разработана новая механическая и аналогово-дискретная модель грунта [3, 13], которая существенно изменяет представление о процессе взаимодействия сван с грунтом. Однако, эти исследования — дело будущего; возможны совместные исследования.

Нагружающее устройство, изготовленное «ЭЛГАД», просто и эффективно позволяет производить испытания с большим диапазоном изменения энергии удара.

Измерительная аппаратура, датчики, включающая акселерометр и тензометр (strain gauge), обеспечивала возможность определения энергии удара, импульса. На опытных сваях были установлены две пары комбинированных датчиков. В качестве регистрирующей аппаратуры использована система FPD3-6.

НИИОСП разработал полевой универсальный компьютерный центр, включающий следующие устройства: АЦП Data Loggers. Notebook, набор сенсоров, — который также можно использовать как для статики, так и для динамики.

Обработка результатов испытаний была выполнена по рекомендациям TNO с помощью инверсионной многостадийной программы TNO Wave-Signal Match с использованием метода итераций.

Если сравнить графики статических испытаний свай № 7 в 17 опоре и № 34 в 16 опоре с динамическими испытаниями свай №№ 15, 43, 44, 48, 49, 53, 57, то можно отметить очень высокую качественную повторность и количественную сходимость результатов. Это говорит о высокой гибкости метода. Качественно аналогичные результаты динамических испытаний свай диаметром 1500 мм н графики статических кривых еще раз подтверждают возможности метода TNO.

Приведенные в отчете на рис. 70 диаграммы трения по боковой поверхности, в частности для сван № 17 не совсем корреспондируются с колонкой геологического разреза. Тем не менее, в целом данные, полученные по статическим и динамическим испытаниям свай вполне удовлетворительны.

Приведены результаты определения несущей способности свай № 34 в 7 опоре, № 53, 54 в 17 опоре по трем методам — «6 мм», касательных я Девиссона. Хотя они не соответствуют определению несущей способности свай по результатам полевых исследований СНиП 2.02.03-85 н ГОСТ' 5686-94, это не снижает ценность результатов.

В отчете приведены оценки сплошности и длины сваи, выполненные с помощью прибора «RET». Результаты следует признать хорошими.

В итоге исполнитель делает вывод — «что оценивая испытания свай по методу Девиссона, ... полученные результаты практически совпадают. Различие в величинах сопротивления системы свая-грунт не превышает 10 %». Вместе с этим следует заметить, что специально поставленные опыты в однородном с геологической точки зрения грунте [14] дали результаты, при этом стандарт составлял около 10 % от среднего значения измеряемой величины q_c (сопротивление грунта конусу зонда) — аналога удельного сопротивления конца сваи.

ВЫВОДЫ

1. Экспериментальные полевые и лабораторные исследования, организация работ, используемая аппаратура н технологическое оборудование, «Отчет о полевых испытаниях буронабивных свай статической н динамической нагрузкой на объекте: Малая Тульская ул., д. 56, эстакада», выполненные ЗАО «Элгад Интернэшнл» совместно с рядом организаций (основной исполнитель — ISOTOP Ltd), производят хорошее впечатление.

2. Получен большой объем экспериментального материала, имеющего как практическое, так и научное значение.

3. Научно-технический уровень метода «ЭЛДИ» является высоким.

4. Метод «ЭЛДИ» должен быть доведен до широкого практического применения.

5. При интенсификации исследований необходимо объединение интеллектуального и технического потенциала ЗЛО «ЭЛГАД», ЦНИИС, НИИОСП и «Изотоп». Следствием чего возможен в ближайшие 4-5 лет отказ от статических испытаний свай большой несущей способности, путем повышения качества и достоверности инженерных изысканий, совершенствования систем измерения н регистрации н др.

6. Открываются возможности патентования ряда способов и конструкций, что существенно продвинет свайное фундаментостроение большой несущей способности.

Зав. лаб. НИИОСП,
к. т. н., д. г. - м. н. Б.И. Кулачкин

С. н. с., к. т. н. А.К. Радкевич

Научный консультант,
зав. лаб. НИИОСП, д. т. н., проф. Б.В. Бахолдин

ЛИТЕРАТУРА

1. TNO report — TNO -DLT Dynamic Load Testing Signal Matching Users Manual. 1985-1996
2. Кулачкин Б.И., Радкевич А.Н., Александровский Ю.В., Остюков Б.С. Проблемы измерений в механике грунта и геотехнике. Транспортное строительство. № 10, 1998.
3. Кулачкин Б.И., Радкевич АИ., Александровский Ю.В., Остюков Б.С. Фундаментальные и прикладные проблемы геотехники. М., РАЕН, 1999.
4. Александров Е.В., Соколинский В.Б Прикладная теория и расчеты ударных систем. М., Наука. 1969.
5. Ляв А.М. Математическая теория упругости. ОНТИ, 1935.
6. Рубинштейн А.Я., Кулачкин Б.И. Динамическое зондирование грунтов. М., Недра,
7. Ильичев В.Л., Аникьев Л.В. Система с полутора степенями свободы как динамическая модель неоднородного основания. ДОФ-85. IV Всесоюзная конференция. Нарва 1985.
8. Ильичев В.Л., Сердобольский АИ. Колебания виброизолированных фундаментов молотов с учетом волнового взаимодействия с грунтом. ДОФ-85. IV Всесоюзная конференция. Нарва, 1985.
9. Bacholdin B.V. The new method of dynamic test of piles. Proceedings of the seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. V3, 1969.
10. Бахолдин Б.В. Тензометрический метод динамических испытаний свай. Сб. ОФ № 56, Стройиздат 1966.
11. Отчет о полевых испытаниях буронабивных свай стоической и динамической нагрузкой на объекте: Малая Тульская ул., д. 56, эстакада. Израиль, май 2000.
12. Вознесенский Е.А. Динамическая неустойчивость грунтов. М., Эдиториал УРСС, 1999.
13. Кулачкин Б.И., Радкевич АИ., Александровский Ю.В., Остюков Б.С. Аналогово-дискретная модель грунта. Механизация строительства № 12, 1999.
14. Кулачкин Б.И. Исследование и разработка методов определения относительной просадочности и коэффициента фильтрации лессовых грунтов статическим зондированием. Диссертация на соискание ученой степени к. т. н., М.. НИИОСП. 1975.

ГОССТРОЙ РОССИИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ФЕДЕРАЛЬНОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ, ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЙ
И КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ им. Н.М. Герсеванова
ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ «НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР «СТРОИТЕЛЬСТВО»
ГУП НИИОСП им. Н.М.ГЕРСЕВАНОВА

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
В.А. Ильичев
"____" август 2001 г.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОТЧЕТ

по теме: «Разработка методических рекомендаций по испытаниям свай ударной нагрузкой по методу ЭЛДИ с учетом специфики ПГС»

договор № 1-21-01 от 16.05.2001 г.

Зав. лабораторией,
доктор техн. наук, профессор Б.В. Бахолдин

Вед. научный сотрудник,
канд. техн. наук П.И. Ястребов

Инженер А.В. Драницын

Москва, 2001 г.

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
	ВВЕДЕНИЕ	24
1.	ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРЕДЛОЖЕННОГО ФИРМОЙ «ЭЛГАД ТОП» МЕТОДА ЭЛДИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ЗАДАЧИ НАМЕЧАЕМЫХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	25
2.	ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКАЮЩИХ В СВАЯХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ УДАРА ДЛЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СВАЙНОГО МОЛОТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО МЕТОДУ ЭЛДИ	26
3.	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ПРИ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ПО МЕТОДУ ЭЛДИ	32
4.	ПРОВЕРКА ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ	40
5.	ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО УЧЕТУ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ ПО МЕТОДУ ЭЛДИ	49

ВВЕДЕНИЕ

Настоящий научно-технический отчет составлен по результатам выполненных исследований согласно договору № 1-21-01 от 16.05.01 г. между ООО «ЭЛГАД-ТОП» и ГУП НИИОСП им. Герсеванова Н.М. по теме «Разработка методических рекомендаций по испытаниям свай ударной нагрузкой по методу ЭЛДИ с учетом специфики ПГС».

В соответствии с указанным договором проведено рассмотрение и анализ имеющейся технической документации и научной литературы по испытанию свай ударной нагрузкой; выполнено аналитическое обоснование возможности определения значения несущей способности буронабивных свай по результатам их испытаний ударной нагрузкой и разработана методика, назначения несущей способности; осуществлена экспериментальная проверка предложенной методики определения несущей способности буронабивных свай по предоставленным материалам испытаний таких свай ударной и статической нагрузками и на основании этих исследований составлены рекомендации по испытаниям свай ударной нагрузкой.

Подготовленные рекомендации даются как материал, дополняющий ранее разработанный и утвержденный «Технологический регламент проведения полевых испытаний несущей способности свай методом ЭЛДИ».

1. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПРЕДЛОЖЕННОГО ФИРМОЙ «ЭЛГАД-ТОП» МЕТОДА ЭЛДИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И ЗАДАЧИ НАМЕЧАЕМЫХ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработанный фирмой «ЭЛГАД ТОП» метод ЭЛДИ предназначен для определения несущей способности свай по результатам их полевых испытаний. Этот метод позволяет получить результаты, которые по физической сущности оказываются близкими к результатам, получаемым при статических испытаниях свай. При этом динамическом методе так же как при методе статических испытаний предусматривается нахождение графиков зависимости осадок свай от передаваемых на них нагрузок. Отличается он лишь тем, что эти нагрузки воспроизводятся в результате динамических воздействий на сваю, а не за счет передачи на нее мертвого груза как при статических испытаниях свай.

Динамические воздействия на сваю по методу ЭЛДИ осуществляются с помощью свободного падения с большой высоты тяжелого груза, перемещающегося по штанге, установленной на головной части сваи. Возникающие при этом усилия, передаваемые на свайное основание, предусматривается определять на основании данных о величине ускорений и скоростей осадок, регистрируемых с помощью акселерометров, установленных на боковой поверхности головной части испытываемой сваи, а также с помощью тензодатчиков.

Алгоритм расчета параметров процесса погружения сваи от удара по методу ЭЛДИ предусматривает использование одной из свайных моделей, изображаемых на рис. 1.1. Переход от простейшей из указанных моделей к более сложной осуществляется на основании обработки материалов одного из статических испытаний свай, проводимого наряду с более массовыми динамическими испытаниями, назначаемыми на производственной площадке. Расчет указанных параметров осуществляется на основании теории распространения ударной волны в одноосном стержне, находящемся в квазиупругой среде с использованием дифференциального уравнения второго порядка

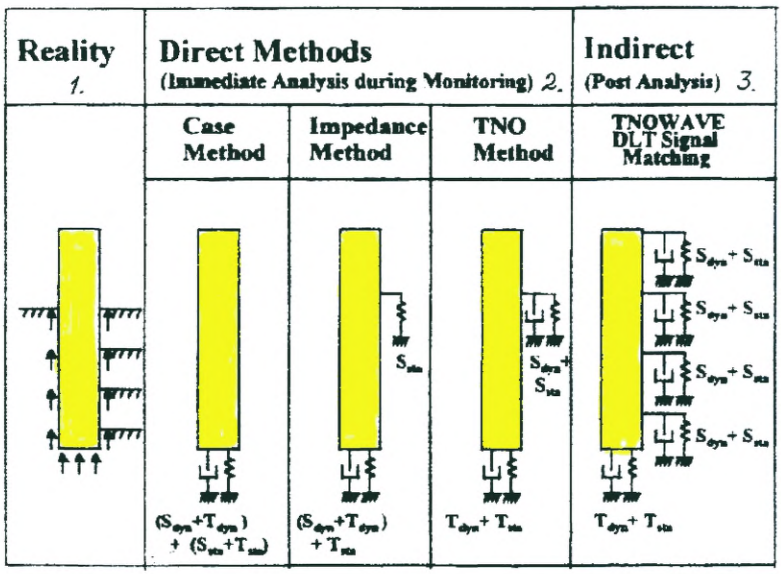


Рис. 1.1. Модели, аппроксимирующие взаимодействие свай с грунтом:
1 - реальное состояние; 2 - для прямых наблюдений при статических испытаниях; 3 - для косвенных наблюдений при динамических испытаниях

$$A \cdot \sigma + dm \frac{\partial^2 U}{\partial t^2} = A\left(\sigma + \frac{\partial^2 \sigma}{\partial t^2} dx\right) \qquad (1.1)$$

где: **A** - площадь поперечного сечения сваи;

σ - нормальные напряжения в поперечном сечении сваи;

m - удельная масса;

U - перемещение сваи;

x и **t** - координаты длины и времени.

Для уточнения и более надежного обоснования метода ЭЛДИ динамических испытаний свай для определения их несущей способности в настоящем техническом отчете приводятся результаты специальных экспериментальных и теоретических исследований. При этом в разделе 2 отчета излагаются исследования, связанные с оценкой возникающих в сваях напряжений в процессе удара молота, проведенные в целях разработки рекомендаций по выбору параметров свайного молота для выполнения динамических испытаний свай по методу ЭЛДИ. В разделе 3 приводятся результаты лабораторных, экспериментальных и теоретических исследований, выполненных для обоснования принципов методики определения несущей способности свай по данным их испытаний по методу ЭЛДИ, а в разделе 4 их опытная проверка в натурных условиях. В конце отчета в разделе 5 даются предложения по учету материалов исследований при проведении динамических испытаний по методу ЭЛДИ.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗНИКАЮЩИХ В СВАЯХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ УДАРА ДЛЯ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ СВАЙНОГО МОЛОТА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАИ ПО МЕТОДУ ЭЛДИ

Для изучения напряжений, возникающих в сваях при ударе были проведены экспериментальные и теоретические исследования.

Эксперименты выполнялись с натурными железобетонными сваями в глинистых грунтах на производственных экспериментальных площадках.

В процессе погружения свай ударом осуществлялось одновременное осциллографирование их перемещений и возникающих в них напряжений.

Перемещения свай фиксировались с помощью потенциометрического датчика, изготовленного из обычного реостата, корпус которого был установлен на неподвижную реперную систему, а движок жестко соединен со сваей (рис. 2.1). В качестве неподвижной системы служила стальная рама, укрепленная на металлических трубах, забитых в грунт. Питание датчика осуществлялось от малогабаритной батареи.

Для регистрации напряжений экспериментальные сваи были оборудованы месдозами тензорезисторного типа.

Такие месдозы представляли собой особого вида полые цилиндры с дном и ввинчивающейся крышкой (рис. 2.2). Цилиндр имел тонкие стенки с буртиками, обеспечивающими его анкеровку в бетоне и лучшую передачу напряжений на стенки цилиндра со стороны его крышки. Дно цилиндра имело значительную толщину, практически устраняющую возможность его прогиба. На внутренних боковых стенках цилиндра были наклеены активные, а на дно компенсационные проволочные датчики. Вывод проводов от датчиков производился через специальные отверстия, предусмотренные в дне цилиндра. Места вывода проводов и резьбовое соединение цилиндра с крышкой в целях создания герметичности заливались эпоксидной смолой.

Перед бетонированием свай месдозы устанавливались на их арматурные каркасы с помощью монтажных петель, пропущенных через специально предусмотренные в месдозах отверстия.

Установка месдоз осуществлялась в нескольких сечениях по длине сваи.



Рис. 2.1. Датчик перемещений для испытания натурных опытных свай

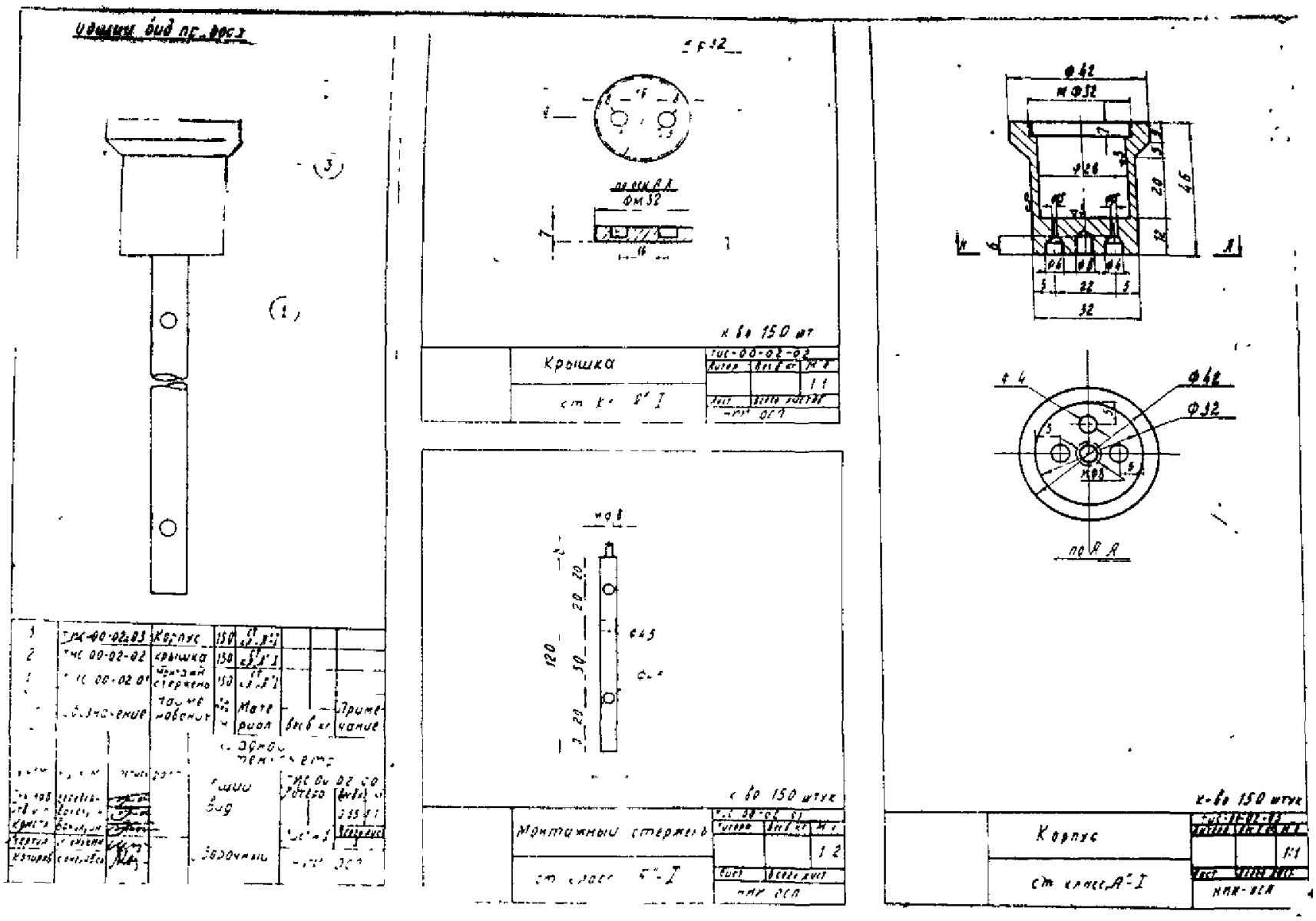


Рис. 2.2. Месдоза стаканного типа

Для возможности установления количественной оценки возникающих в процессе удара напряжений месдозы тарировались непосредственно в свае путем ее загружения на горизонтальном стенде перед погружением, а также предварительно в специально изготовленных бетонных призмах.

На рис. 2.3 показан ряд осциллограмм, полученных при динамических испытаниях экспериментальных свай с применением молота массой 2,5 т.

Группа этих осциллограмм фиксирует напряжения и перемещения сваи, погружаемой в напластования полутвердых суглинков и - пластичных супесей, при высоте подъема ударной части молота 1,0…1,8 м. При этом на осциллограммах кривые 1 соответствуют перемещению сваи, кривые 2 и 5 - усилиям, возникающим соответственно в острие и голове сваи, а кривые 3 и 4 - усилиям в промежуточных сечениях сваи (в нижней четверти и в середине).

Анализируя приведенные осциллограммы, прежде всего, необходимо указать, что характер перемещения сваи при ударе, вопреки распространенным в настоящее время представлениям носит не колебательный, а апериодический характер. Происходит это в связи с действием большого сопротивления грунта по боковой поверхности сваи, влиянием упругих свойств самой сваи и распределительной прокладки свайного наголовника, а также в связи с тем, что грунт является материалом с различной степенью сопротивления сжимающим и растягивающим усилиям.

Таким образом, результаты опытов свидетельствуют о непригодности (для практических расчетов процессов погружения свай) имеющихся решений, базирующихся только на теории затухающих периодических колебаний.

Рассматривая осциллограммы усилий, возникающих в свае при ударе, видим, что вид кривых осциллограмм напряжений в свае может быть весьма различным. Более того, осциллограммы свидетельствуют о наличии при ударе, в одних случаях, только сжимающих напряжений, в других - наряду со сжимающими напряжениями также и растягивающих. Однако в осциллограммах могут быть подмечены некоторые особенности и установлены определенные закономерности.

В частности, общим при погружении свай ударом в сжимаемые грунты является наличие очень больших по величине напряжений в голове сваи. Для погружения свай с использованием значительных высот подъема ударной части молота (см. рис. 2.3, осциллограммы **б** и **в**) всегда характерно наличие в первый момент удара (практически еще до появления видимой подвижки сваи) пикообразного увеличения напряжений. Это увеличение напряжений, как по абсолютной, так и по относительной величине тем больше, чем дальше от пяты сваи располагается сечение, в котором рассматриваются действующие напряжения. Для сечений, расположенных вблизи острия сваи, указанные пиковые напряжения в начале удара практически отсутствуют.

В случае забивки свай при небольших высотах падения ударной части молота пикообразного увеличения напряжений на осциллограммах не наблюдается. При этом осциллограммы напряжений имеют более спокойный, почти плавный характер для всех сечений сваи, а максимум напряжений практически приходится не на начальный момент динамического воздействия, как было ранее, а на момент близкий к переходу сваи от погружения к упругой отдаче.

Оценку величины напряжений при больших высотах подъема ударной части молота при испытаниях по методу ЭЛДИ предполагается осуществлять исходя их следующих соображений.

Из осциллограмм (см. рис. 2.3) видим, что контактные усилия в процессе удара до момента достижения максимальной величины непрерывно возрастают. Это может быть только лишь в том случае, если свая и молот движутся в плотном контакте друг с другом.

Перемещения сваи в этот период, как видно из совмещенных осциллограмм усилий и перемещений, незначительны, а следовательно, незначителен и отпор грунта. Практически контактные усилия при этом почти целиком определяются инерционными силами системы свая-молот и характеризуются резким, линейным возрастанием их с течением времени. Поскольку инерционные силы являются функцией ускорения, то можно считать, что ускорение сваи $\omega_м$ в молота сом в этот период будет:

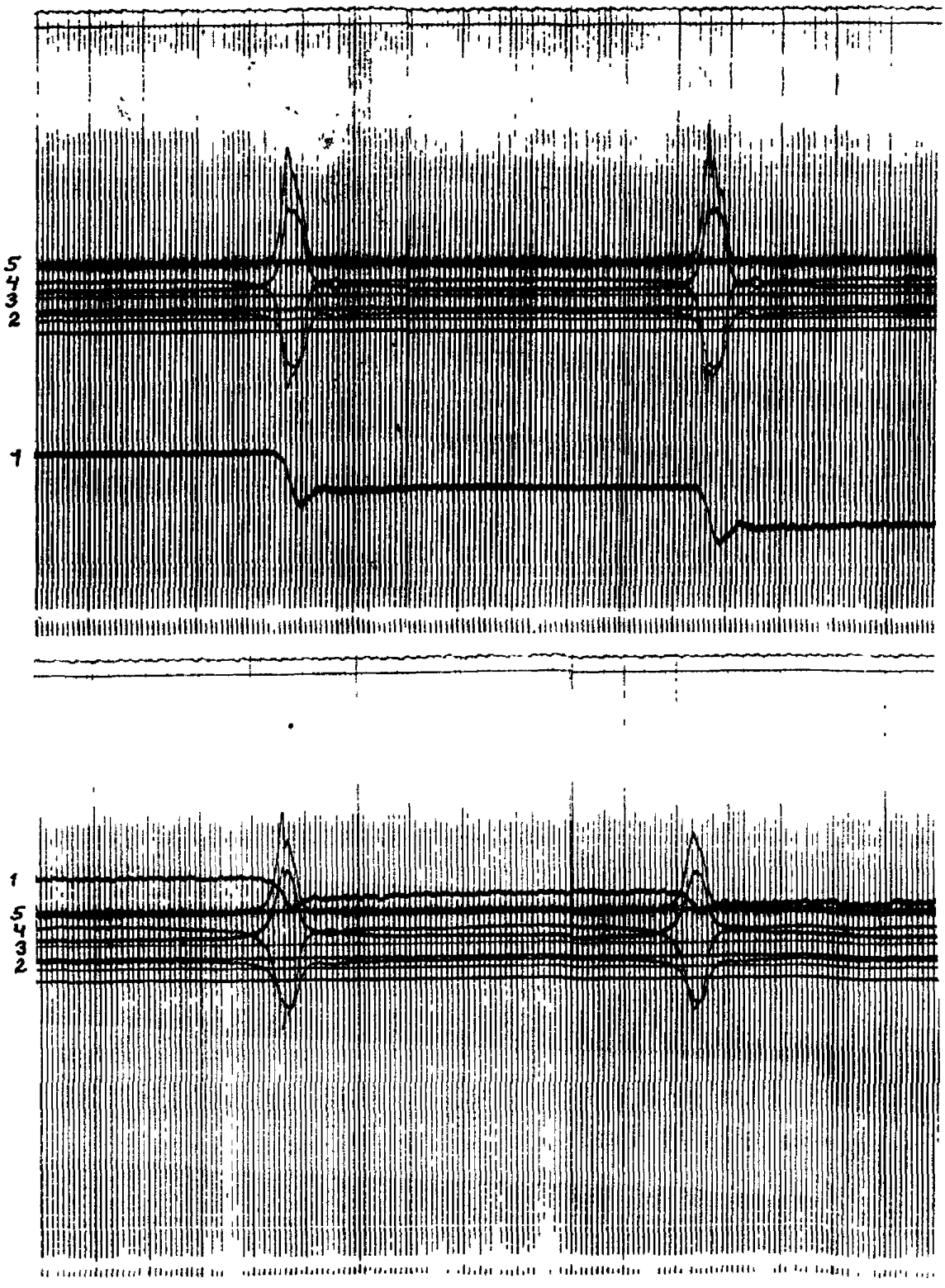


Рис. 2.3. Осциллограммы напряжений, возникающих в стволе сваи при ударе молота

$$\omega_c = \alpha_к \cdot t,$$

$$\omega_м = \beta_к \cdot t \qquad (2.1)$$

где: $\alpha_к$ и $\beta_к$ - некоторые коэффициенты;
t - время.

За время движения сваи и молота в рассматриваемый период молот должен пройти путь, больший, чем свая, на величину ее деформации и деформации прокладки оголовника.

Из условия неразрывности движения имеем:

$$\int_0^{t_1} dt \int_0^t \alpha_k \cdot t \cdot dt + \Delta = \int_0^{t_1} \left[V - \int_0^t \beta_k \cdot t \cdot dt \right] dt \qquad (2.2)$$

где: t - время, прошедшее от начала соприкосновения молота со сваей до достижения максимального напряжения;
Δ - деформации сваи и прокладки наголовника.

В момент достижения максимальных контактных усилий наблюдается наибольшее сжатие сваи и прокладки наголовника. В результате скорости деформации их в тот момент равны нулю, что практически равносильно отсутствию диссипации упругого потенциала в бетоне и прокладке наголовника.

Учитывая это, а также равномерно увеличивающееся по длине сваи распределение инерционных сил, величину наибольшей суммарной деформации сваи и прокладки наголовника можно определить из выражения:

$$\Delta = \frac{\delta}{E_n F}\left(m_c \alpha_k t_1 + P_{гр}\right) + \frac{1}{2} \cdot \frac{l}{E_\delta F}\left(m_c \alpha_k t_1 + P_{гр}\right) \qquad (2.3)$$

где: δ - толщина прокладки наголовника;
E_n - модуль упругости прокладки;
m_c - масса сваи;
l - длина сваи;
E_δ - модуль упругости бетона;
F - площадь поперечного сечения сваи;
$P_{гр}$ - реакция грунта основания сваи.

Реакцию грунта основания с учетом ее демпфирующей части можно выразить как:

$$P_{гр} = K_o \Delta_{гр} = K_o \int_0^{t_1} dt \int_0^t \alpha_k \cdot t \cdot dt \qquad (2.4)$$

где: K_o - динамическая жесткость грунта основания сваи;
$\Delta_{гр}$ - деформация грунта, равная по величине пути, пройденному сваей от начала удара до момента достижения максимальных напряжений в голове сваи.

При ударе в процессе совместного движения сваи и молота повышение напряжений в месте их контакта происходит только в том случае, если скорость молота больше скорости сваи. Наоборот, снижение контактных напряжений возможно лишь в период, когда скорость сваи превышает скорость молота, имеющего массу $m_м$.

В связи с существованием этих двух условий можно утверждать, что в момент достижения напряжениями в месте контакта максимума, характеризующегося переходом от воз-

растания напряжений к их снижению, скорости молота и сваи должны быть равны между собой.

Следовательно, можно записать:

$$\int_0^{t_1} \alpha_k t dt = V - \int_0^{t_1} \beta_k t dt \qquad (2.5)$$

Наконец, из условия равновесия сил в месте контакта имеем:

$$m_c \alpha_k t_1 + k_\partial \int_0^{t_1} dt \int_0^{t} \alpha_k t dt = m_м \beta_k t_1 \qquad (2.6)$$

Для большинства практических расчетов их можно упростить, если учесть, что в момент, соответствующий возникновению максимальных напряжений в голове сваи, как отмечалось ранее, величина отпора грунта невелика. Это дает возможность при приближенных инженерных расчетах во всех указанных выше уравнениях величиной $K_o \int_0^{t_1} dt \int_0^{t} \alpha_k t dt$ по сравнению с величиной $m_c \alpha_k t$ пренебречь.

Тогда, учитывая, что скорость молота в момент удара

$$V = \sqrt{2gH_м}$$

где: **$H_м$** - высота падения ударной части молота;

g - ускорение силы тяжести,

и выражая массы сваи и молота через их веса, из уравнений (2.1...2.6) при $K_o = 0$ получим:

$$\sigma_k = 4\sqrt{\frac{QH_м}{3\left(\frac{l}{E_б} + 2\frac{\delta}{E_п}\right)\left(1 + \frac{Q}{q}\right)F}} \qquad (2.8)$$

где: **Q** - вес ударной части молота;

q - вес сваи.

При расчете максимальных контактных напряжений в голове сваи по формуле (2.8) следует иметь в виду, что величина модуля упругости прокладки должна приниматься с учетом уплотнения ее материала.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ПРИ ИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ ПО МЕТОДУ ЭЛДИ

В настоящее время несущую способность сваи при динамических испытаниях в большинстве случаев оценивают по величине отказа сваи в процессе ее погружения, используя те или иные динамические формулы для определенных условий погружения свай - типа сваебойного оборудования, выбранных параметров его работы, характера грунтовых напластований и т.п.

Однако этот способ оценки несущей способности свай разработан лишь для забивных свай и то только применительно к определенным видам оборудования для их погружения.

Другой недостаток динамических формул заключается в том, что при их использова-

нии не исключены ошибочные результаты, так как при выводе формул очень трудно учесть все физические явления, происходящие при таком сложном процессе, как погружение сваи в реальные грунты.

Недостатки существующих методов динамических испытаний вынуждают строителей применять дорогостоящий способ статического испытания свай, который пока еще является единственно надежным при определении несущей способности сваи. Между тем при динамических испытаниях аналогично статическим можно фиксировать реальные динамические нагрузки в процессе удара. Сложность в этом случае заключается лишь в том, что при этом помимо сопротивления грунта обычно фиксируются силы инерции погружаемой системы.

Переход от сил инерции к сопротивлению достаточно сложен и для реальных условий динамических испытаний свай слабо разработан. Кроме того, некоторая сложность заключается в установке датчиков. Однако эти сложности можно в значительной степени устранить.

Для практических массовых работ по динамическому испытанию свай применение измерительных датчиков, размещаемых у пяты и по длине сваи, является дорогостоящим и многодельным мероприятием, так как после погружения сваи эти датчики остаются в грунте.

Поэтому наиболее реальна методика динамических испытаний, предусматривающая установку измерительных датчиков только в голове сваи, то есть в месте контакта сваи и молота.

Если бы свая обладала бы нулевой массой, то величина усилий, регистрируемая с помощью установленных датчиков, полностью совпадала бы с величиной сопротивления грунта, так как в любой момент погружения сваи на нее воздействовали бы только инерционные усилия и вес самого молота. В реальной свае, имеющей определенную массу, при ударе, как уже указывалось выше, действуют еще ее собственные инерционные силы.

Для установления закономерностей проявления инерционных сил при погружении сваи ударом и изучения характера получаемой при этом эпюры контактных давлений были проведены специальные лабораторные эксперименты.

Экспериментальная установка (рис. 3.1) состояла из резервуара 1, вмещающего 1м^3 грунта, простейшего копра 2 со сменными подвесными молотами 3 различного веса, приспособления 4 рычажного типа для статического испытания сваи, тензометрической аппаратуры в виде усилителя 5 и осциллографа 6. Погружаемую сваю 7 оборудовали в верхней части электротензометрическим вкладышем 8. Вкладыш - это стальной цилиндр, на боковой поверхности которого установлены активные проволочные датчики, а на толстостенном дне - компенсационные датчики. Датчики соединялись в обычную мостовую схему. Удар молота передавался непосредственно на вкладыш, а в некоторых случаях для центровки удара - через металлический шарик.

Питание моста датчиков и усиление сигнала его разбаланса от напряжений, возникающих при ударе, осуществлялись через усилитель и регистрировались на пленке одним из шлейфов осциллографа.

Одновременно с записью напряжений, возникающих в месте контакта молота и сваи, на той же пленке другим шлейфом осциллографа фиксировались сигналы датчика перемещений, который был изготовлен по схеме реостатного типа.

Полученные осциллограммы показаны на рис. 3.2. Осциллограмма **А** соответствует случаю, когда энергия удара молота настолько мала, что свая получает только упругие перемещения. Поэтому осциллограмма имеет один пик контактных напряжений.

Упругие перемещения сваи могут происходить практически под действием любых сил, в том числе сил, которые значительно меньше (по терминологии Н.М. Герсеванова) предела упругости осадки сваи и тем более ее предельного сопротивления. Поэтому динамические испытания должны производиться при энергии удара, обеспечивающей некоторый, хотя бы очень малый, остаточный отказ. Если же остаточного отказа получить не удается, то испытания следует проводить при максимально возможной энергии удара молота, чтобы получить наибольшее динамическое воздействие, которое бы вызвало сопротивление грунта,

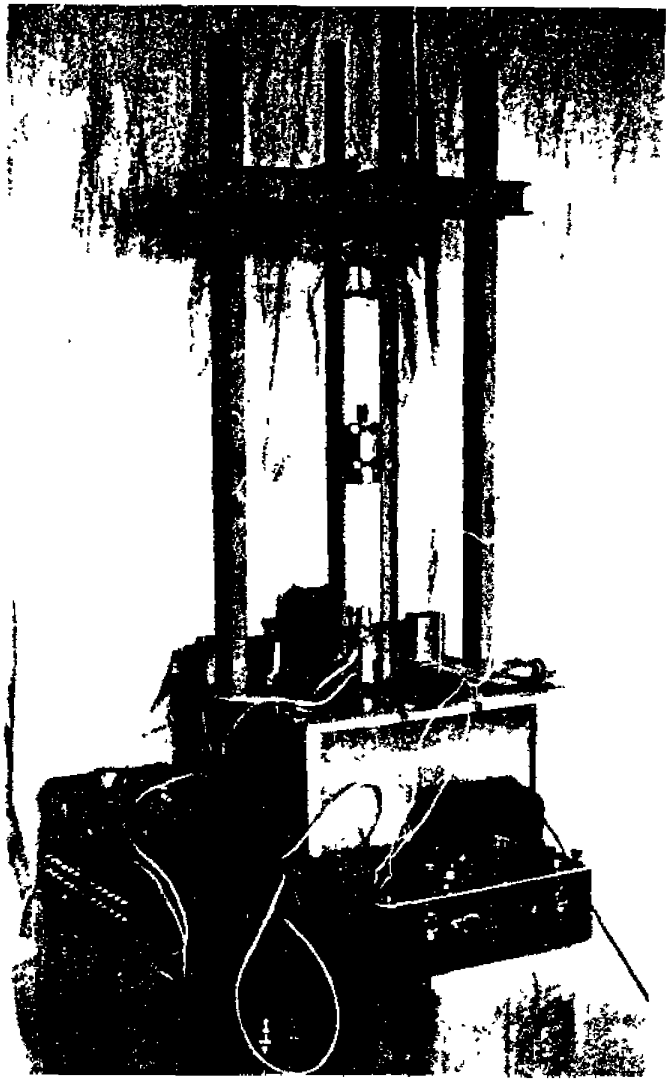


Рис. 3.1. Экспериментальная установка, использовавшаяся при динамических испытаниях свай в лабораторных условиях

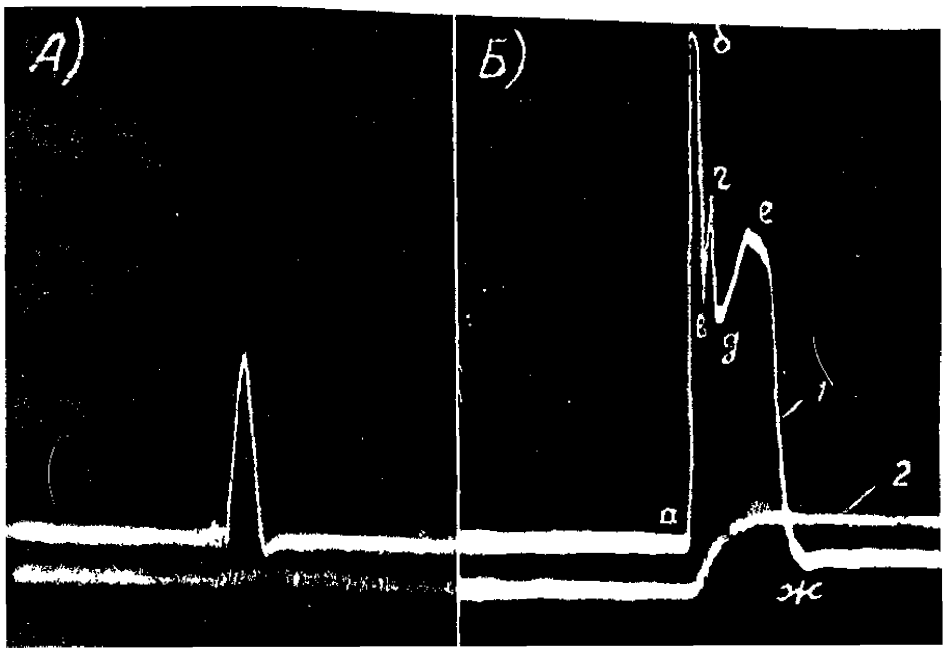


Рис. 3.2. Обобщенные схемы осциллограмм контактных усилий

приближающееся по величине к пределу упругости осадки сваи.

Осциллограмма **Б** соответствует случаю, когда имеется остаточная деформация. Кривая 1 характеризует диаграмму контактных напряжений или (поскольку вкладыш тарировался по общей передаваемой на него нагрузке) диаграмму контактных усилий. Кривая 2 соответствует эпюре перемещений.

Руководствуясь данными этой осциллограммы и общими представлениями теории удара, физическую сущность прогресса погружения сваи при ударе (если ее не усложнять некоторыми явлениями, происходящими в сваях большой длины вследствие деформации тела самой сваи, т.е. считая, что деформация тела наиболее распространенных свай всегда существенно меньше упругих и остаточных деформаций грунта) упрощенно можно представить в следующем виде.

Молот, ударяя по неподвижной свае, приводит ее в движение, причем скорость движения сваи **V** постепенно возрастает от **0** до некоторой величины $\mathbf{V_1}$. Увеличению скорости погружения сваи препятствуют силы сопротивления грунта и совпадающие с ними по направлению силы инерции самой сваи, В результате свая сжимается, причем сила сжатия сваи в соответствии с равномерным распределением ее ускоряемой массы по длине будет возрастать к голове сваи. В рассматриваемый период в месте контакта сваи и молота эти силы по величине будут значительно превышать сопротивление грунта, так как кроме них действуют силы инерции сваи, противодействующие увеличению скорости ее погружения.

Указанный период на осциллограмме контактных усилий характеризуется участком ***аб***. В момент максимального сжатия сваи (точка ***б*** на осциллограмме) скорость ударной части молота $\mathbf{V_м}$ равна скорости движения сваи $\mathbf{V_с}$. Далее на участке ***бв*** свая, реализуя энергию удара и своего сжатия, движется в начале с ускорением, а затем с замедлением, однако со скоростью, превышающей скорость молота. В результате контактные усилия во времени падают и с момента начала замедления движения сваи они оказываются меньше, чем сопротивление грунта, которое частично гасится инерционными силами тормозящейся массы свай.

В точке ***в*** скорость сваи становится равной скорости молота. Молот, надавливая на сваю, передает ей часть своей энергии; в диаграмме контактных усилий это отражается в виде всплеска контактных напряжений ***вг***. Свая опять реализует энергию своего сжатия и движется со скоростью, превышающей скорость молота, точки ***d***. Однако при этом контактное усилие вследствие продолжающего торможения массы сваи остается меньшим, чем силы сопротивления грунта.

Точка ***d*** скорость молота и скорость движения сваи вследствие более сильного торможения сваи вторично уравниваются. Вновь молот, надавливая на сваю, отдает ей свою энергию. Однако потеря кинетической энергии приводит к постепенному снижению скорости движения системы и, наконец, в момент соответствующий на осциллограмме точке ***е***, свая, а затем и молот останавливаются. Скорость перемещения сваи оказывается равно нулю. Осадка сваи, как видно из осциллограммы перемещений сваи на рис. 3.2, прекращается. В этот момент сопротивление грунта по своему физическому смыслу соответствует так называемой величине предела упругости грунта (которая совершенно не искажена вязкой составляющей его сопротивления), так как вслед за прекращением осадки сжатый грунт основания, преодолевая силы инерции системы, приподнимает сваю вместе с молотом. Силы упругого сжатия самой сваи, дополнительно воздействуя на молот, подбрасывают его над сваей. Контактные силы в этот период постепенно уменьшается, а в момент отрыва молота от сваи становятся равными нулю (точка ***жс***).

Таким образом, усилие $\mathbf{P_к}$, действующие в месте контакта молота и сваи, не равно сопротивлению грунта $\mathbf{P_г}$, в который погружается свая. В начале удара они больше сопротивления грунта $\mathbf{P_г}$, а в конце меньше на величину сил инерции самой сваи $\mathbf{P_с}$, то есть

$$P_{кп} = P_{гп} + \left| P_{сп} \right| - q \qquad (3.1)$$

где: **q** - вес сваи.

Силы инерции самой сваи $\mathbf{P_с}$ для каждого рассматриваемого момента ее движения в

принципе возможно вычислить (поскольку масса сваи m_c известна, а величина ее ускорений $\frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2}$ может быть получена в данном случае графическим дифференцированием осциллограммы осадки U_c по формуле:

$$P_c = m_c \frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2} = \frac{q}{g} \cdot \frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2} \qquad (3.2)$$

где: $\mathbf{m_c}$ - масса сваи;
$\mathbf{g}$ - ускорение силы тяжести.

Однако определение сил инерции сваи связано с построением эпюры скоростей $\frac{\partial U_c}{\partial t^2}$ по эпюре осадок, а после этого - эпюры ускорении $\frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2}$. Ускорения возможно также зарегистрировать непосредственно по результатам записи их с помощью акселерометров, установленных на боковой поверхности свай, как это предусмотрено методикой испытаний ЭЛДИ. Следовательно, построение кривой зависимости сопротивления грунта от динамических нагрузок возможно. Однако в любом случае при этом будет определяться динамическое сопротивление грунта, которое включает вязкую его составляющую. Поэтому мы считаем целесообразным пойти по иному направлению.

Н.М. Герсеванов указывал, что вопрос об определении сопротивления сваи при динамических испытаниях может быть решен лишь в том случае, «если под сопротивлением сваи понимать предел упругости ее осадки».

Если следовать этим указаниям, то при динамических испытаниях можно ограничиться определением лишь предела упругости осадки сваи, не учитывая всего комплекса изменений нагрузки, передающейся на грунт в процессе удара. Момент прекращения осадки сваи и возникновения ее упругой отдачи во времени всегда может, быть установлен по осциллограмме осадки сваи или по осциллограмме скорости ее осадки, которая может быть получена при испытаниях по методу ЭЛДИ. Следовательно, можно установить и соответствующую этому моменту величину контактного усилия $\mathbf{P_к = P_{ко}}$ по одновременно снятой осциллограмме.

Контактные усилия $\mathbf{P_к}$ по принципу Даламбера равны по абсолютной величине сумме инерционной силы молота $\mathbf{P_м}$ и его веса $\mathbf{Q}$ и могут быть приближенно выражены формулой.

$$P_k = P_м + Q = m_м \frac{\partial^2 U_м}{\partial t^2} + Q = \frac{Q}{g}\left(\frac{\partial^2 U_м}{\partial t^2} + g\right) \qquad (3.3)$$

где: $\mathbf{m_м}$ - масса молота;
$\mathbf{Q}$ - вес молота;
$\frac{\partial^2 U_м}{\partial t^2}$ - ускорение молота.

Для возможности использования этого уравнения следует выяснить, в каком соотношении находятся ускорения сваи $\frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2}$ и молота $\frac{\partial^2 U_м}{\partial t^2}$ в момент перехода от осадки к упругой отдаче сваи (при $\mathbf{t = t_o}$). Это можно сделать, если учесть что перед окончанием процесса осадки молот нагоняет сваю. Свая, имея в начале последнего всплеска усилий скорость, равную скорости молота, прекращает свое перемещение вертикально вниз раньше, чем молот, который какое-то время перемещается и после остановки сваи за счет ее сжатия. Из этого можно заключить, что свая непосредственно перед окончанием своей осадки тормозится бо-

лее эффективно, чем молот, то есть имеет большую величину ускорения. В период действия упругой отдачи грунта, наоборот, большим по величине оказывается ускорение молота, поскольку на молот кроме сил отпора грунта действуют силы упругости самой сжатой сваи, физическим выражением чего является более эффективное, чем у сваи, нарастание скорости молота, сопровождающееся его отрывом от сваи (подскоком).

Сопоставляя указанные особенности движения сваи и молота, и учитывая неизбежность плавного изменения их ускорений, заключаем, что такой характер изменения скоростей возможен только при условии, если в момент близкий к моменту перехода от осадки сваи к упругой отдаче грунта ускорения молота и сваи будут равны. Проще говоря, можно допустить, что в указанный момент свая и молот, движутся как единое целое.

Принимая в соответствии с этим приближенно $\left(\frac{\partial^2 U_c}{\partial t^2}\right)_{t=t_0} = \left(\frac{\partial^2 U_м}{\partial t^2}\right)_{t=t_0}$ и решая совместно уравнения (3.2) и (3.3) относительно силы инерции сваи рассматриваемого момента $\mathbf{P_{co}}$ при $\mathbf{t = t_0}$ (то есть в момент перехода от осадки к упругой отдаче), получим

$$P_{co} = (P_{ko} - Q)\frac{m_c}{m_м} \qquad (3.4)$$

Тогда сопротивление грунта упругой отдаче $\mathbf{P_г = F}$ или, что тоже самое, предел упругости осадки сваи (а в обычном понимании несущая способность сваи) в соответствии с формулами (3.1) и (3.4) будет равен:

$$F = P_{ko}\left(1 + \frac{m_c}{m_м}\right) = P_{ko}\left(1 + \frac{q}{Q}\right) \qquad (3.5)$$

Таким образом, зная соотношение масс молота и сваи, по величине усилия в месте их контакта в момент окончания осадки сваи $\mathbf{P_{ко}}$ всегда можно определить величину предела упругости осадки (то есть в момент, когда скорость осадки равна нулю) сваи **F**, т.е. ту же величину, что дает формула Н.М. Герсеванова, но с большей достоверностью без применения каких-либо эмпирических коэффициентов.

Кроме того, определяемая при этом величина предела динамической упругости осадки сваи, не включает вязкой составляющей сопротивления грунта и поэтому по своему физическому смыслу достаточно близка к статическому сопротивлению грунта основания сваи.

Для проверки правильности теоретических положений, принятых для разработки методики определения несущей способности свай, были проведены следующие опыты.

В песок средней крупности, уплотненный при укладке в лоток до средней плотности (коэффициент пористости 0,37...0,38), была забита опытная модель деревянной сваи сечением 30 х 30 мм, оборудованная электротензометрическим вкладышем. Масса модели сваи с вкладышем была равна около 560 г.

Модель испытывалась динамическим воздействием с записью осциллограмм контактных усилий. Удары производились подвесными грузами массой 550, 2300 и 1700 г при разных высотах падения.

Отказ погружаемой модели фиксировался на пленке осциллографа, а остаточная его часть фиксировалась также визуально.

На рис. 3.3 приведена часть осциллограмм контактных усилий 1 и перемещений сваи 2, полученных при динамическом испытании модели сваи грузом 5500 гс при высотах падения 50 мм (рис. а), 125 мм (рис. б), 250 мм (рис. в), 500 мм (рис. г) и грузом 17000 гс при высоте падения 500 мм (рис. д). В табл. приведены величины остаточных отказов. Скорость записи на пленку при испытаниях грузом 5500 г составляла 100 мм/сек, а при испытании грузом 1700 г - 250 мм/сек.

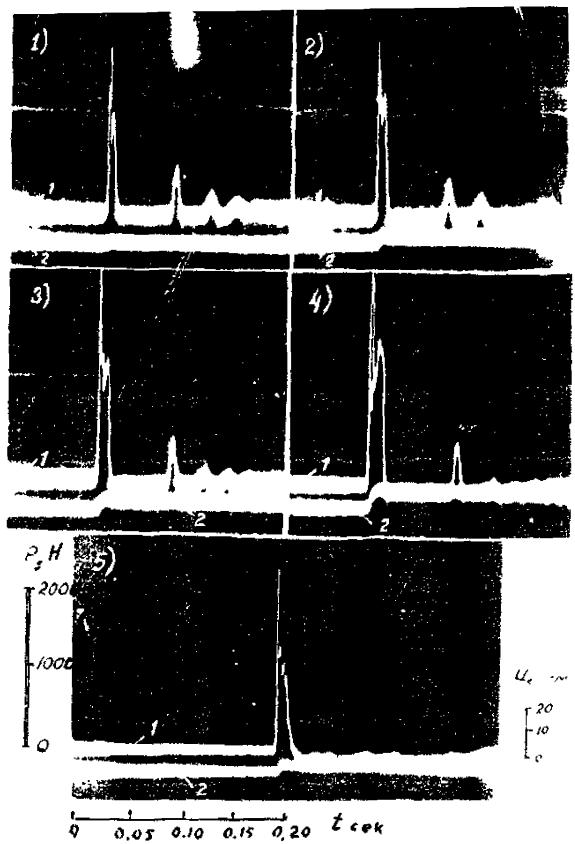


Рис. 3.3. Осциллограммы усилий и перемещений

Таблица

Результаты динамических испытаний моделей

Масса ударной части молота в г	*Остаточные отказы свай в мм при высоте падения ударной части молота в мм*			
	50	125	250	550
5500	0,5	3	37	12
1700	0	0,5	1	2,5

Из рисунка видно, что контактное усилие, соответствующее моменту перехода от осадки к упругой отдаче, совпадает с последним ярко выраженным всплеском этого усилия на осциллограмме. Следует отметить, что по величине это усилие, а следовательно, и предел упругости осадки при испытаниях грузами одинаковой массы практически постоянно (с точностью до 15 %) даже при изменении высоты падения груза (или энергии удара) в 10 раз. Уменьшение массы ударяющего груза при прочих равных условиях, в том числе при сохранении величины энергии удара, приводит к уменьшению контактных усилий, соответствующих моменту упругой отдачи. Однако пересчет этого усилия на величину предела упругости осадки по формуле (3.5) дает одинаковый результат с аналогичным пересчетом для более тяжелого груза. Так, для условий проведенных опытов при испытаниях модели сваи грузом 5500 и 1700 г предел упругости осадки одинаков и составляет 1500-2000 Н. Это свидетельствует о том, что предел упругости осадки является достаточно устойчивой характеристикой грунта.

После динамических испытаний моделей свай они с помощью рычажного прибора испытывались статической нагрузкой. Эпюры осадки для всего цикла опытов были приблизительно одинаковы; одна их них приведена на рис. 3.4.

Из рисунка видно, что полученная при динамических испытаний величина предела упругости осадки, равная 1500-2000 Н охватывает участок эпюры с нагрузками, близкими к величине, которую по эпюре можно принять за предельное сопротивление сваи.

При сопоставлении данных рис. 3.3 и рис, 3.4, следует отметить также идентичность известной закономерности увеличения сопротивления сваи с возрастанием ее осадок как при статических, так и при динамических испытаниях.

4. ПРОВЕРКА ЛАБОРАТОРНЫХ ОПЫТОВ В НАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ

Для проверки результатов лабораторных опытов были проведены опыты в натурных условиях.

При этих опытах ряд натурных железобетонных свай оборудовался датчиками перемещения и тензодинамометрами, обеспечивающими возможность регистрации возникающих в процессе погружения усилий. Тензодинамометры для измерения усилий выполнялись преимущественно в виде установленных на арматурный каркас стальных стержней с наклеенными на них проволочными датчиками сопротивления (рис. 3.5). Датчик перемещений, как и ранее, был принят реостатно-потенциометрического типа.

На рис. 3.6 и 3.7 показаны осциллограммы усилий и перемещений, зафиксированные при погружении экспериментальной круглой полой (трубчатой) сваи диаметром 780 мм и длинной 6 м.

Грунты этой строительной площадки были представлены до глубины 4,8-5,0 м пластичными супесями, а ниже мягкопластичными суглинками и глинами.

Зафиксированные на осциллограмме усилия и перемещения соответствуют моменту динамических испытаний сваи после ее погружения на проектную глубину 5,5 м дизель-молотом С-330 с весом ударной части Q = 2,5 тс при высоте ее подъема H = 1,5 м (см. рис. 3.6) и H = 0,7 м (см. рис. 3.7).

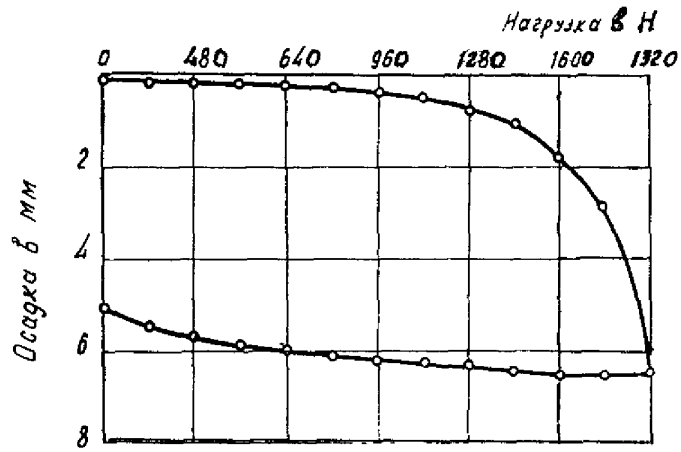


Рис. 3.4. Эпюра статического нагружения модели сваи

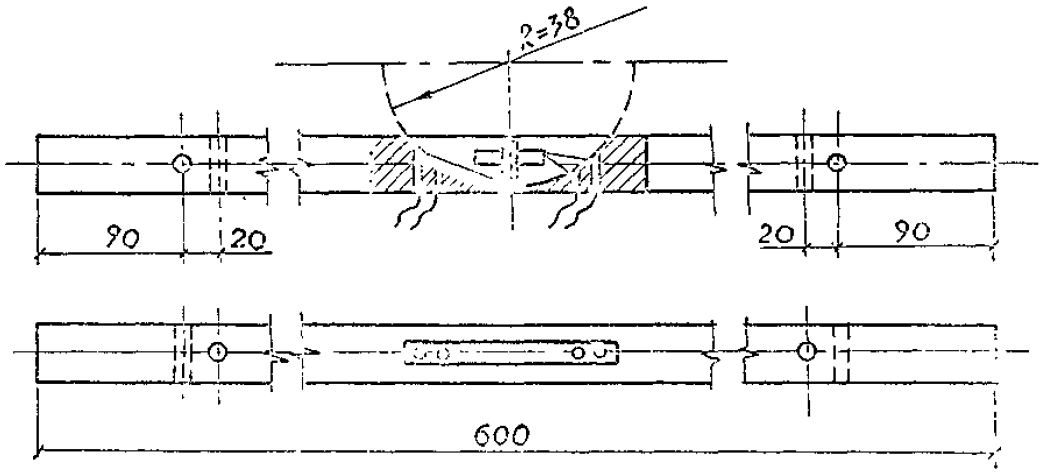


Рис. 3.5. Стержневой тензодинамометр

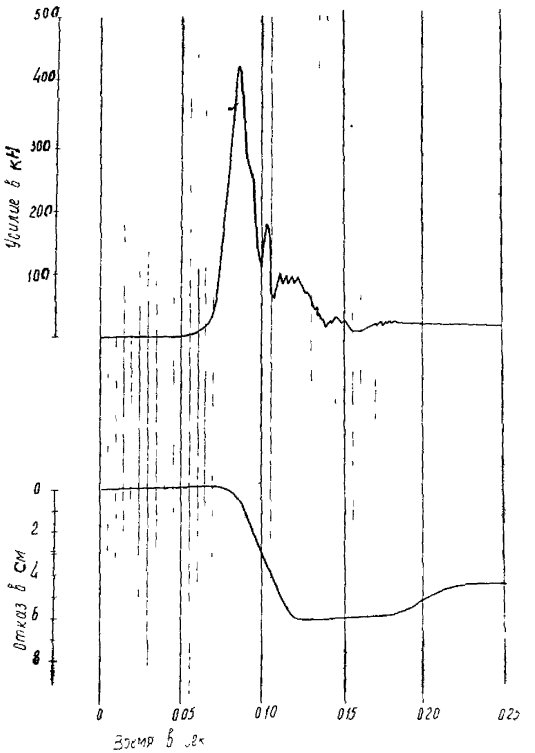


Рис. 3.6. Осциллограмма усилий в голове сваи и ее перемещений, зафиксированная при ударе молота в случае, когда высота подъема его ударной части равна H = 150 см

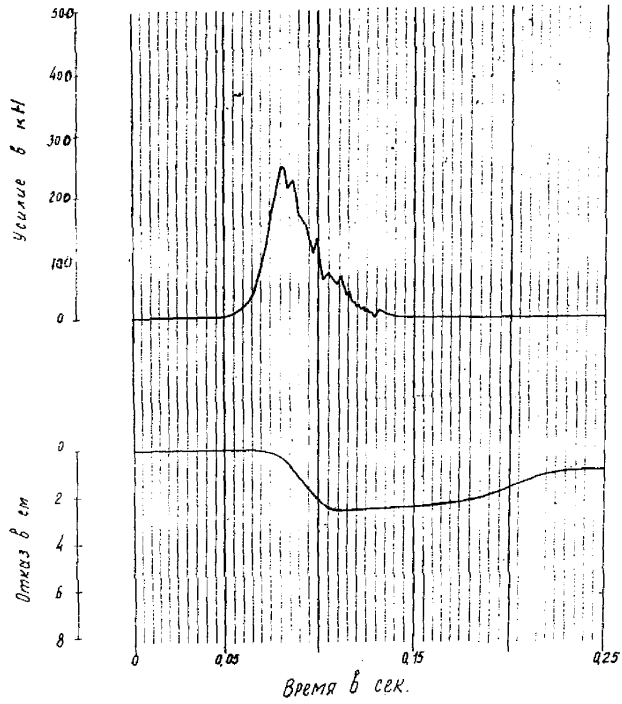


Рис. 3.7. Осциллограмма усилий в голове сваи и ее перемещений, зафиксированная при ударе молота в случае, когда высота подъема его ударной части равна H = 70 см

Кривые 1 осциллограмм изображают перемещения сваи, а кривые 2 величину усилий в ее голове.

Сравнивая полученные в производственных условиях осциллограммы усилий, возникающих в голове натурных железобетонных свай, с осциллограммами аналогичных усилий, зафиксированных в описанных выше лабораторных опытах при погружении моделей свай, следует, прежде всего, отметить их полное совпадение по общему очертанию. Для них характерны пикообразные всплески усилий в начальный момент погружения, вызываемые силами инерции массы сваи. Так что в общем случае зарегистрированные усилия в свае, как и прежде не соответствуют усилиям, вызываемым сопротивлением грунта, за исключением сил фиксируемых в неискаженном виде месдозой, установленной в нижнем конце сваи. Кроме того, следует еще раз указать, что фиксируемые силы при динамических испытаниях включает составляющие вязкого сопротивления грунта, и поэтому в общем случае не могут отождествляться с интересующим нас статическим сопротивлением грунта.

В целях наглядного выявления закономерностей проявление вязкости грунта на одной из производственных площадок, представленной глинистыми грунтами, были испытаны опытные сваи-штампы. Такие сваи-штампы изготовлялись из труб диаметром 22 см длиной 4 м и оборудовались месдозами для раздельной регистрации в процессе ударного воздействия возникающих величин сопротивления грунта. Построенные по результатам осциллографирования при различных режимах динамических испытаний свай-штампов графики указанных величин представлены на рис. 3.8 и 3.9.

Для характеристики работы грунта под нагрузкой наибольший интерес, как уже отмечалось при анализе результатов модельных испытаний, представляют величины его сопротивления в момент перехода свай от погружения к упругой отдаче. В этот момент скорость перемещения сваи оказывается нулевой и сопротивление грунта по своему физическому смыслу наиболее приближается к статическому.

На рис. 3.8 и 3.9 пунктирной линией показаны графики сопротивления грунта под нижним концом и на боковой поверхности свай-штампов в зависимости от ее перемещений в момент упругой отдачи грунта, то есть при нулевых скоростях их движения. Эти графики можно рассматривать как диаграммы, соответствующие практически мгновенным осадкам грунта от условно статической (т.е. не вызывающей вязких сопротивлений) нагрузки. Рядом с указанными диаграммами даны аналогичные диаграммы 1, полученные по результатам статических испытаний свай-штампов.

Сравнение указанных диаграмм показывает, что общий характер графиков зависимости осадки сваи от величины силового воздействия при статических и динамических испытаниях, особенно в части величины предельного сопротивления, практически достаточно близко совпадают.

В дальнейшем определение несущей способности при динамических испытаниях обычных экспериментальных свай по данным усилий, возникающих в месте контакта их с молотом, производилось по ранее предложенной формуле (3.5). При этом для грубых расчетов величина несущей способности определялась по указанной формуле непосредственно на основе совмещенной осциллограммы усилий и перемещений, полученной в результате записи одного удара. В случае, если необходимо было получить более точные данные и представить общий характер зависимости осадки сваи от нагрузки производилась серия динамических испытаний сваи при различных высотах падения ударной части молота с записью усилий, возникающих в голове сваи, и ее перемещений. На основе этих осциллограмм, используя ту же формулу, определялись пределы упругой осадки сваи при различных перемещениях, и строилась диаграмма в координатах усилия - перемещения.

Такого рода диаграмма для случая динамического испытания экспериментальной сваи сечением 30 х 30 см длиной 6 м, прорезавшей мягкопластичные суглинки и опиравшейся на пласт тугопластичных суглинков, дана на рис. 3.10 (сплошная кривая). На этом же рисунке показана диаграмма (пунктирная кривая) зависимости осадки сваи от нагрузки, полученная при статическом испытании опытной сваи. Сопоставление указанных диаграмм свидетельствует о допустимости практического применения метода ЭЛДИ для определения сопротивления грунта и несущей способности свай по результатам их динамического испытания.

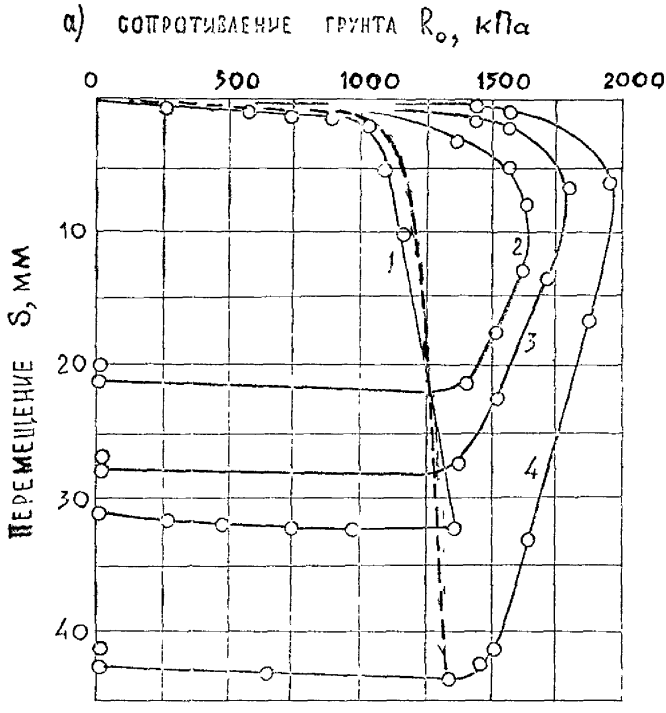


Рис. 3.8. Удельные динамические сопротивления грунта под пятой сваи – штампа

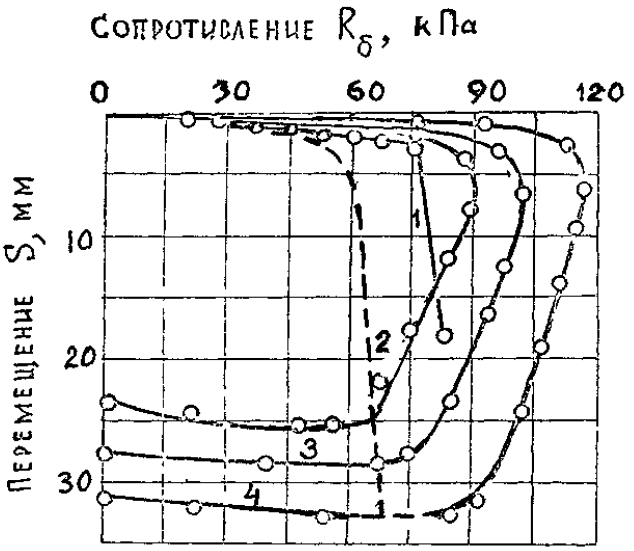


Рис. 3.9. Зависимость удельных динамических сопротивлений грунта на боковой поверхности сваи - штампа

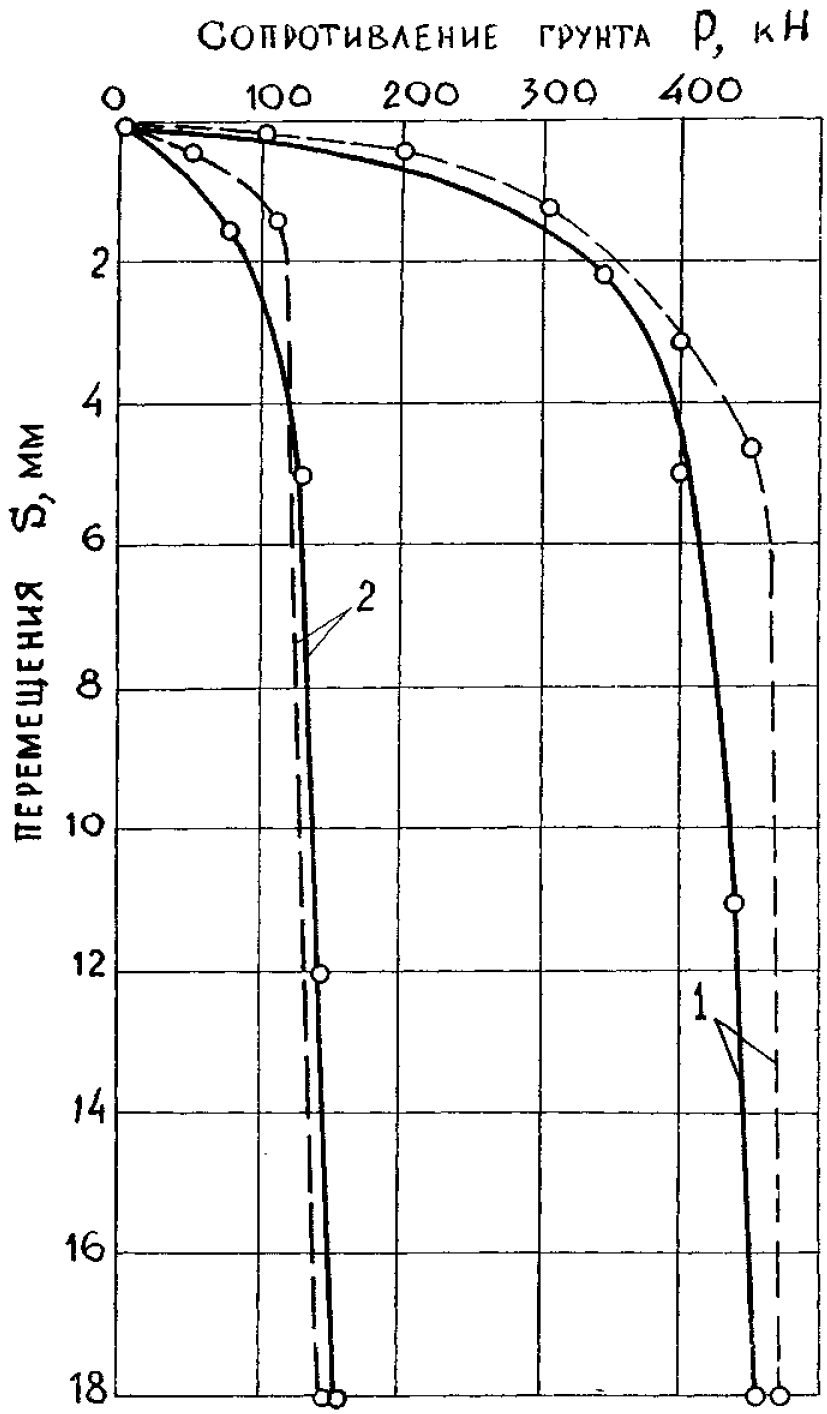


Рис. 3.10. Сравнение диаграмм зависимости перемещений грунта от нагрузки, полученных по результатам динамических и статических испытаний сваи
I - сваи в целом; 2 - ее нижнего конца

5. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВЫПОЛНЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИСПЫТАНИЯМ СВАЙ УДАРНОЙ НАГРУЗКОЙ ПО МЕТОДУ ЭЛДИ С УЧЕТОМ СПЕЦИФИКИ ПГС

1. Результаты выполненных исследований показали, что принятый в методе ЭЛДИ принцип динамических испытаний и способ построения графиков зависимости осадок сваи от динамических воздействий, эквивалентных статическим нагрузкам, являются теоретически обоснованными и пригодными для практического применения в свайном фундаментостроении.

2. Разработанный и утвержденный ранее «Технологический регламент по проведению полевых испытаний несущей способности свай методом ЭЛДИ» следует применять с учетом выполнения изложенных ниже методических требований.

3. Сваи, предназначенные для динамических испытаний по методу ЭЛДИ, в головной части (в связи с очень большими напряжениями, возникающими в них при ударе) должны быть проверены по прочности в соответствии с методикой, разработанной в разделе 2 настоящего технического отчета.

4. Выбор параметров установки для динамических испытаний свай по методу ЭЛДИ должен производиться из условия обязательного обеспечения при их проведении на всех этапах некоторой остаточной подвижки сваи от одного удара молота, в целях обеспечения возможности учета повышенного сопротивления грунтов, развивающегося при достижении их предельного состояния.

5. Аппаратура, используемая при испытаниях свай по методу ЭЛДИ для записи ускорений и скоростей погружения сваи, а также для регистрации усилий, возникающих в ее голове при ударе молота, на конечной фазе процесса соударения молота и сваи должны фиксировать указанные параметры в большем масштабе, чем в начальной его фазе, так как в начальный момент соударения действуют только силы инерции без видимых перемещений сваи, а следовательно, относящиеся к этому моменту сведения не могут дать полезной информации о сопротивлении грунтов основания сваи.

6. Желательно используемую при испытаниях свай по методу ЭЛДИ аппаратуру оснастить датчиками, обеспечивающими возможность непосредственной прямой регистрации процесса развития осадки сваи при ударе во времени.

7. Графики зависимости осадки сваи от динамического усилия, возникающего при ударе при испытании свай по методу ЭЛДИ, следует строить применительно к различным высотам подъема ударной части молота.

8. Несущую способность сваи по данным ее динамических испытаний по методу ЭЛДИ рекомендуется определять по величине так называемого предела упругости осадки, которая соответствует усилию, возникающему в свае в момент ее упругой отдачи, то есть в момент, когда скорость ее погружения равна нулю.

9. В случае испытания относительно коротких свай (длиной до 12 м) молотами с массой ударной части равной или превышающей массу сваи, предел упругости осадки сваи (принимаемый в этом случае соответствующем его несущей способности) допускается определять непосредственно по данным графиков регистрируемых динамических усилий в голове сваи и скоростей ее перемещения при ударе. В остальных случаях указанную величину предела упругости осадки сваи для оценки ее несущей способности следует определять по графикам зависимости осадки от нагрузки, построенным по результатам динамических испытаний, обработанных с использованием теории распространения ударной волны в стержне, находящимся в квазиупругой среде, с учетом результатов контрольных статических испытаний.

10.Несущую способность свай по результатам их статических испытаний следует назначать в соответствии с требованиями п. 5.4 СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты». Метод «шести мм», метод «касательных» и метод Дэвиссона при этом следует рассматривать как вспомогательные способы оценки несущей способности свай при сопоставлении данных их и динамических испытаний.

gost.e-ecolog.ru