

СТАТИКА, ДИНАМИКА ИЛИ ВОЛНОВАЯ ТЕОРИЯ УДАРА PDR?

Мостовое бюро 15 лет успешно занимается вопросами контроля качества строительства на различных объектах, в том числе стратегически важных и уникальных. Накопленный опыт позволил выявить ряд основных (существенных) проблем, с которыми ежедневно сталкивается подрядчик и проектировщик в период строительства.

Одной из проблем, решаемых как на стадии проектирования, так и в период строительства, являются неточные и неоднозначные геологические условия строительной площадки. Неточности в отчетах инженерно-геологических изысканий приводят к принятию ошибочных технических решений при проектировании сооружений. Вследствие этого появляется необходимость в дополнительных строительных работах, приводящих к увеличению расхода строительных материалов и сроков строительно-монтажных работ. В итоге уже на стадии инженерной подготовки и нулевого цикла заказчик превышает запланированный бюджет.

Эффективное решение этой проблемы существует, и мы хотим осветить его в данной статье.

Одним из основных критериев надежности конструкции в целом является правильный выбор конструкции фундамента. Определить несущую способность грунта помогают специальные расчеты, геологические изыскания и зон-

дирование. Но этого достаточно только для теоретических расчетов свайного фундамента. А как поведет себя конструкция в реальных условиях, никому не известно.

Точные результаты можно получить при проведении испытаний грунтов натурными сваями. Полевые испытания грунтов натурными сваями можно разделить на статические и динамические. Испытание свай выполняется на этапе инженерных изысканий и контрольных проверок в период строительства. В процессе работ определяется несущая способность и возможные деформации. Затем данные сверяются с расчетными показателями, указанными в проектной документации. При необходимости производится корректировка типа и габаритов свай, а также технологии их заглубления. Оба этих способа имеют свои плюсы и минусы.

После анализа перспектив развития направления контрольных испытаний свай на вдавливающую нагрузку методом, используя



Д.В. Торочков, начальник отдела обследований и испытаний ИССО ООО «Мостовое бюро»

щим принципы волновой теории удара, и с учетом острой необходимости данной услуги для подрядчика, в Европе было организовано и проведено обучение специалистов компании. Были получены необходимые практические знания о методах расчетов, основанных на волновой теории удара; далее была проведена большая практическая работа по применению этой теории в строительстве.

Статические испытания (рис. 1) в строительном мире считаются эталоном. При проведении испытаний такой нагрузкой мы получаем фактическую несущую способность грунта. Но трудоемкость этого процесса и его стоимость зачастую ставят в тупик строительные компании.



Рис. 1. Пример стенда для проведения статических испытаний



Рис. 2. Проведение динамических испытаний ж/б призматической сваи

Проведение динамических испытаний (рис. 2) гораздо легче по трудозатратам и стоимости, но как в первом случае, так и во втором подрядчик и проектировщик не получает полной картины. Нет данных о дефектах в свае, нет данных о распределении трения по боковой поверхности сваи и ее пяты. А если говорить о проведении динамических испытаний забивных свай, да еще длиной более 30 м, то вопросов возникает больше, чем ответов, потому как сваебойное оборудование разнообразно по конструкции, и даже два молота с одной массой ударной части могут показать абсолютно разные результаты по энергии, передаваемой на испытываемые сваи. А это, в свою очередь, приведет к неправильным расчетам конструкции свайных фундаментов. Существует решение вышеуказанных вопросов. Одно из решений прописано в отечественной нормативной литературе как «контрольные испытания свай на вдавливающую нагрузку методом, использующим принципы волновой теории удара». В западных странах данный метод известен как испытания свай ударной нагрузкой по ASTM D4945.

На сегодняшний день существует достаточно много технической литературы, где подробно описывается технология, методы и порядок проведения испытаний, использующих принципы волновой теории удара.

- ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» (п. 8.4);
- «Технологический регламент проведения полевых испытаний несущей способности свай ударно-волновым методом» (М., ОАО «ГУП НИИОСП им Н.М. Герсеева», 2001);
- «Методические рекомендации по проведению полевых испытаний свай в сооружениях ПГС с применением ударной нагрузки» (М., ГУП НИИОСП им Н.М. Герсеева, 2002);
- «Методические рекомендации по проведению полевых испытаний свай методом ударной нагрузки» (М., ОАО «ЦНИИС», 2001).

Однако на практике этот метод используется крайне редко, хотя имеет существенные преимущества перед «классическими» испытаниями.

- Скорость и простота монтажа оборудования (до 40 мин/свая);
- Скорость проведения испытаний (до 10 свай в смену);
- Экономическая выгода по сравнению со статическими испытаниями;
- Определение наличия дефектов в испытываемых сваях;
- Определение корректной работы сваебойного оборудования в реальном времени;
- Достоверность и расширенный спектр получаемых результатов.

Приборным комплексом, который полностью удовлетворяет всем параметрам и требованиям ГОСТ, является «Система мониторинга погружения свай PDR» (рис. 3) производства нидерландской компании.

Комплекс PDR предназначен для проведения контрольных испытаний свай на вдавливающую нагрузку на основе волновой теории удара, в соответствии с разделом 8.4 ГОСТ 5686-2012. По сути, испытания на вдавливающую нагрузку методом, использующим принципы волновой теории удара, аналогичны динамическим испытаниям свай. Отличие лишь в необходимости фиксации значений деформаций ствола сваи и ускорений, а также ее перемещения под воздействием ударного нагружения при помощи приборного комплекса PDR.

Комплекс PDR состоит из двух комбинированных датчиков деформаций и акселерометров, устанавливаемых на испытываемой свае в соответствии с приложением Н ГОСТ 5686-2012.

Во время проведения испытаний приборный комплекс PDR фиксирует данные о действующей силе по регистрируемым значениям деформации ствола сваи и об ускорении и скорости ее под воздействием ударного нагружения с частотой не менее 50 кГц. Данные через беспроводной передатчик Wi-Fi передают-

ся на компьютер для дальнейшего анализа и хранения.

Значения деформаций продольного сжатия сваи и ускорений сваи в зоне установки датчиков во время удара молота при дальнейших расчетах позволяют вычислить следующие параметры:

- среднее (по сечению) сжимающее напряжение во время удара;
- фактическая переданная энергия молота;
- КПД молота;
- величины упругого и остаточного отказов;
- статическую несущую способность сваи.

По результатам испытаний имеется возможность определить, имеются ли повреждения сваи, которые могут возникнуть во время погружения. Приборный комплекс PDR способен проводить необходимые замеры как на вертикальных, так и на наклонных сваях. Несущая способность сваи может быть определена как для сплошных, так и для составных свай. Для контроля упругих и остаточных отказов необходимо использовать лазерный триангуляционный датчик LS5, который записывает отказограмму со значениями отказов за каждый удар. Записи производятся параллельно с работой приборного комплекса PDR.

Расчет несущей способности сваи по грунту по результатам динамических испытаний выполняется при помощи специального программного комплекса, в котором реализована математическая модель, основанная на волновой теории удара. Программный комплекс позволяет работать с данными, полученными с приборного комплекса PDR. В качестве исходных данных для расчета несущей способности используются следующее:

- сигналы датчиков, записанные во время испытаний;
- результаты инженерно-геологических изысканий;
- проектные значения трения по боковой поверхности и сопротивление под подошвой;



Рис. 3. Система мониторинга свай PDR

- параметры свай (диаметры и длины секций с толщиной металлических стенок, глубина погружения свай в грунт). Все исходные данные заносятся в программу для моделирования расчетного поведения свай в процессе динамических испытаний.

Расчетная модель «свая-грунт» в программе представлена на рис. 4. На рисунке грунт представлен двумя параметрами: жесткостью пружин (упругая составляющая) и величиной демпфирования (диссипативная составляющая). На основании этих исходных данных строится два графика обратной волны (рис. 5):

- полученной по результатам полевых измерений приборным комплексом PDR обратной волны;

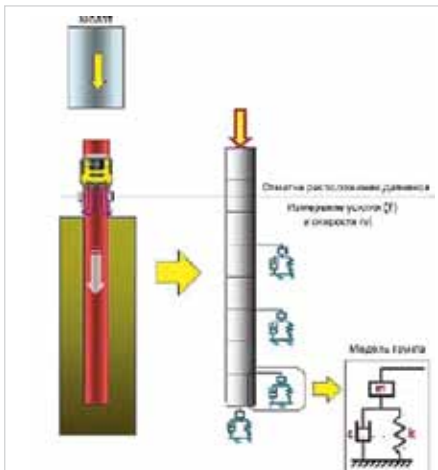


Рис. 4. Расчетная модель «свая-грунт»

■ полученной по расчетной модели на основании расчета в программе.

В основу анализа несущей способности сваи по грунту положена волновая теория удара, то есть исследование распространения волн напряжения в упругом стержне при продольных колебаниях во время и после воздействия ударной нагрузки. Распространение волн напряжения определяется решением уравнения продольных колебаний стержня.

Решение ищется в виде суперпозиции прямой и обратной волны. Исходными данными и граничными условиями для решения уравнения являются показания датчиков приборного комплекса PDR, установленных на свае.

На сегодняшний день проведено более 2000 испытаний, и расчеты достигли точности в 10% разницы от результатов статических испытаний, что подтверждает корректность теоретических выкладок и реальную применимость данного метода при сооружении свайных фундаментов.

Испытания свай и анализ результатов проводятся в соответствии с требованиями нормативных документов:

- ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний»;
- СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты»;
- СП 45.13330.2012 «СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты».

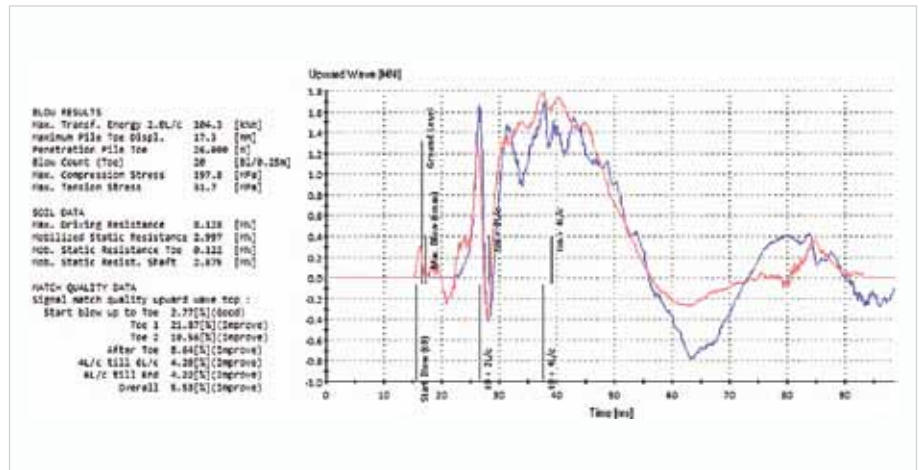


Рис. 5. Графики обратных волн, смоделированных в программе

Согласно нормативным требованиям, легитимность применения оборудования на территории РФ должна подтверждаться соответствующими сертификатами, а также оно должно быть внесено в Государственный реестр систем измерений – об этом прекрасно знают службы строительного контроля заказчика. Мы решили и эту задачу. «Система мониторинга погружения свай PDR» внесена в Госреестр СИ!

Накопленный научно-практический опыт применения контрольных испытаний свай на вдавливающую нагрузку методом, использующим принципы волновой теории удара PDR на различных конструкциях и типах свайных оснований, служит основой для развития перспективных методов испытаний в России и должен активно применяться при реализации таких уникальных проектов, как мост на Сахалин.

А лучшим показателем успешного применения комплекса PDR является совместная работа и плодотворное сотрудничество с такими представителями строительного рынка, как:

- АО «Институт Гипростроймост Санкт-Петербург»,
- ООО «Стромос»,
- АО «Трест Гидромонтаж»,
- ООО «Интерстрой»,
- АО «Мостострой 11»,
- ООО «Спецфундаментстрой»,
- АО «Фирма Деко»,
- СТФ «Мостоотряд 99»,

- ООО «Югтерминалпроект»,
- МТФ «Таганка Мост»,
- ООО «Стройгазмонтаж»,
- ВТФ «Мостоотряд-81»,
- ООО «Мостоотряд-75»,
- КТФ «Мостоотряд-46»,
- ООО «ГСС»,
- ТФ «Мостоотряд 36»,
- ООО «МостДорСтрой»,
- ЧТФ «Мостоотряд 41»,
- ООО «Карст»,
- КТФ «Мостоотряд 125»,
- ООО «Новорос Техфлот»,
- НТФ «Мостоотряд-1»,
- ООО «Эксиком»,
- РТФ «Мостоотряд 10»,
- ООО «Альмакор Групп»,
- ЯТФ «Мостоотряд 6».



197198, Санкт-Петербург
ул. Яблочкова, 7, лит. Л, пом. 607
тел. +7 (812) 703-36-93
факс +7 (812) 703-36-92
e-mail: mb.piter@yandex.ru
www.mb-spb.com

Дорогие коллеги, друзья!
Коллектив «Мостового бюро» сердечно поздравляет вас с профессиональным праздником – Днем строителя! От души хотим пожелать каждому из вас крепкого здоровья и благополучия, романтики и профессиональных побед! Пусть труд строителя всегда остается особенно почетным и всегда востребованным!