WWW.EEPiR.RU

ЭЛЕКТРО ЭНЕРГИЯ

ПЕРЕДАЧА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

ЖУРНАЛ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

Особенности диагностики свай магистральных линий электропередачи Ямало-Ненецкого автономного округа

Николай ГРИЦЕНКО, начальник службы эксплуатации линий электропередачи филиала ПАО «Россети» — Ямало-Ненецкое ПМЭС

Ямало-Ненецкий автономный округ — это регион, в котором энергетики постоянно сталкиваются с различного рода сложностями. Это как суровые климатические условия, такие как низкие температуры, вечная мерзлота, сильно заболоченная местность, так и необходимость специализированной техники для работ в таких условиях. В этих регионах основой экономики является добыча нефти и газа, которые обеспечиваются электроснабжением магистральными электрическими сетями 220–500 кВ. Для их стабильной работы в субарктической и арктической зонах энергетики филиала ПАО «Россети» — Ямало-Ненецкое предприятие прикладывают большие усилия по диагностике технического состояния и дальнейшим реконструкциям линий электропередачи и подстанций электросетевого комплекса.

Диагностика технического состояния энергообъекта — область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов. Она является составной частью технического обслуживания.

В филиале ПАО «Росссети» — Ямало-Ненецкое предприятие за стабильную работу линий электропередачи отвечают служба диагностики, служба эксплуатации линий электропередачи (ЛЭП) и служба эксплуатации подстанций (ПС). В течение года сотрудники проводят техническое обслуживание и диагностику энергообъектов и на основании полученных результатов формируют план ремонтов и замен. В исключительных случаях могут потребоваться срочные аварийно-восстановительные работы.

Способы технического обслуживания и диагностики энергообъектов в Ямало-Ненецком автономном округе:

- периодические и верховые осмотры ВЛ;
- внеочередной осмотр ВЛ;
- проверки и измерения ВЛ;
- тепловизионный контроль;
- диагностика свай методом акустической дефектоскопии.

ДИАГНОСТИКА СВАЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Измерение длины свай необходимо для контроля соответствия фактических размеров проектным параметрам, оценки несущей способности и равномерного распределения нагрузок на фундамент, а также выявления дефектов при эксплуатации.

Некоторые методы измерения длины свай:

- *Сейсмоакустический.* Основан на анализе распространения упругих волн в теле сваи. При ударном воздействии на оголовок сваи возникают волны, которые отражаются от ее основания. Измеряя время прохождения волн, можно определить длину сваи.
- *Ультразвуковой.* Использует ультразвуковые волны для оценки длины и сплошности сваи. Датчики устанавливаются на оголовке и основании сваи, что позволяет измерить время прохождения сигнала и вычислить длину.
- *Электромагнитный.* Применяется для определения длины металлических свай или свай с металлическими элементами с помощью электромагнитных импульсов.

Как было сказано выше, развитие электросетевого хозяйства в Ямало-Ненецком автономном округе сопряжено с определенными трудностями. Также стоит отметить темпы строительства в 1980-х годах, когда ежегодно происходила постановка под напряжение по 500 км ЛЭП высокого напряжения. Данные обстоятельства послужили изначальными причинами проблем при эксплуатации ЛЭП в текущее время:

1. Нарушение технологии работ при строительстве ЛЭП в части устройства свайных фундаментов — срубание свай при погружении. При проектном закреплении фундамента на 7,8 м фактически погружали на 3–4 м. Данное нарушение было вызвано отсутствием специализированной техники, способной бурить лидерные скважины и забивать сваи в условиях вечной мерзлоты.
2. Сила морозного пучения — это сила, возникающая при увеличении объема грунта при отрицательных температурах. Происходит она из-за того, что влага, содержащаяся в грунте, при замерзании (оттаивании) увеличивается (уменьшается) в объеме. Ввиду того, что 95% процентов территории, где проходят линии электропередачи, — это болото, то страдают абсолютно все ЛЭП. Силы морозного пучения неравномерно выдавливают фундаменты и ослабляют их несущую способность.

Диагностика фундаментов в филиале ПАО «Россети» — Ямало-Ненецкое ПМЭС началась с 2015 года, когда при штормовом ветре произошло одновременное падение пяти опор на четырех ВЛ. По результатам расследования данных технологических нарушений на всех опорах длина свай не соответствовала проектной. Для диагностики был выбран метод сейсмоакустический дефектоскопии.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

Метод ультразвуковых волн основан на регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых в контролируемых объектах (сваях) с помощью ударного импульса. Удар наносится специальным молотком по торцу сваи (или по специальной площадке, укрепленной на свае, если свая в составе ростверка) параллельно продольной оси сваи (рисунок 1). Волна распространяется по стволу сваи с некоторой скоростью V, частично отражаясь от границ раздела сред (бетон — грунт, бетон — инородное включение, трещина и т.д.). Отраженные волны возвращаются к верху сваи и регистрируются датчиком ускорения (акселерометром), установленным на торце сваи. Сигнал с акселерометра поступает на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) измерительного прибора, оцифровывается и сохраняется в память. Затем сигнал интегрируется и представляется в виде сигнала скорости.

Временной интервал между моментом удара и моментом прихода на датчик волны, отраженной от границы раздела сред, равен времени Δt, необходимому для распространения волны по стволу сваи длиной H дважды (вниз и вверх). Длина сваи определяется косвенным методом, исходя из измеренного прибором времени Δt, при этом скорость распространения волны в свае V считается известной:

$$H = \frac{V\,\Delta t}{2}. \qquad (1)$$

Спектральное представление такого сигнала будет иметь в своем составе повторяющиеся пики с разницей частот $\Delta f = 1/\Delta t$ (рисунок 2).

Таким образом, длина сваи может быть также определена по спектру сигнала:

$$H = \frac{V}{2\Delta f}. \qquad (2)$$

Погрешность определения длины сваи напрямую зависит от того, насколько точно задана скорость распространения волны в свае. Чтобы упростить интерпретацию сигнала, он подвергается дополнительной обработке — усилению и фильтрации. Трение боковой поверхности сваи вызывает ослабление сигнала при прохождении его по свае. Для компенсации этого ослабления сигнал уси-

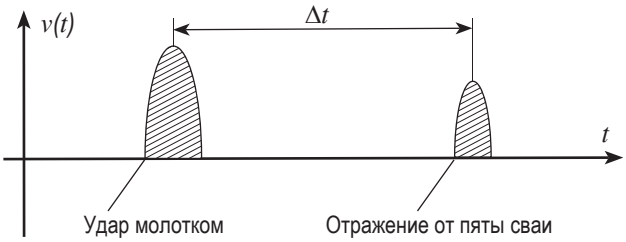

Рис. 1. Отклик сваи на удар молотком как функция времени V(t)

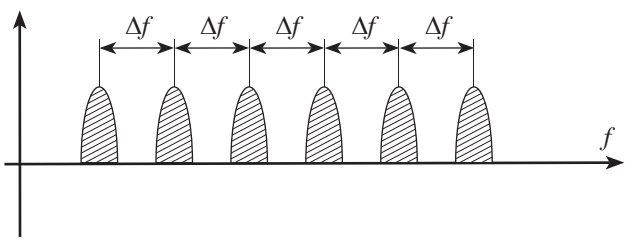

Рис. 2. Спектральное представление сигнала

ливается. Фильтрация применяется для удаления шумов из сигнала.

Отражение волны от границы раздела сред происходит из-за изменения полного акустического импеданса сваи.

Акустический импеданс Z определяется как:

$$Z = S\sqrt{E\rho}, \qquad (3)$$

где S — площадь сечения сваи; E — модуль упругости; ρ — плотность сваи.

Любое изменение S, E или ρ приведет к изменению импеданса и, как следствие, к отражению акустической волны. Отражения могут быть вызваны следующими разделами сред:

- конец сваи;
- уменьшение/увеличение поперечного сечения;
- трещина;
- изменение плотности бетона;
- изменение слоя грунта.

Не вызывают отражения следующие дефекты:

- постепенное изменение диаметра сваи;
- изогнутая форма сваи;
- мелкие дефекты.

От знака изменения импеданса на границе раздела сред зависит знак отражения (рисунок 3). Если значение импеданса уменьшилось (уменьшение поперечного сечения, ухудшение качества бетона), то отражение будет совпадать по знаку с ударом. Если значение импеданса увеличилось (увеличение поперечного сечения, улучшения качества бетона), то отражение будет противоположного с ударом знака.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЯ

1. Подготовить сваю к проведению измерений (обеспечить выполнение требований к свае). Верхний торец сваи должен быть сухим, горизонтальным, очищенным от посторонних материалов, любые посторонние предметы, соприкасающиеся со сваей, должны быть удалены, свая должна иметь круглое или квадратное поперечное сечение, диаметр сечения не более 2 метров, длина сваи от 5 до 40 поперечных сечений, но не менее 2 метров и не более 50 метров. Не допускается работа машин и механизмов, создающих вибрационные воздействия на сваю.
2. Укрепить подключенный к прибору датчик на верхнем торце сваи через соединительный материал (мастику) и убедиться, что обеспечен плотный контакт датчика со сваей (рисунок 4).
3. Произвести удар молотком по верхнему торцу сваи параллельно продольной оси сваи. Молоток, которым наносится удар, влияет на качество проведения испытаний. Он должен быть с пластиковой или резиновой насадкой. Для небольших свай следует выбирать молотки небольшой массы и с жесткой насадкой. Для крупных свай рекомендуются молотки большой массы с мягкой насадкой.
4. Убедиться, что прибор зарегистрировал сигнал.
5. Получить таким способом минимум 3 сигнала.
6. Если были зарегистрированы отличающиеся друг от друга сигналы, следует повторить измерения, изменив место закрепления датчика.

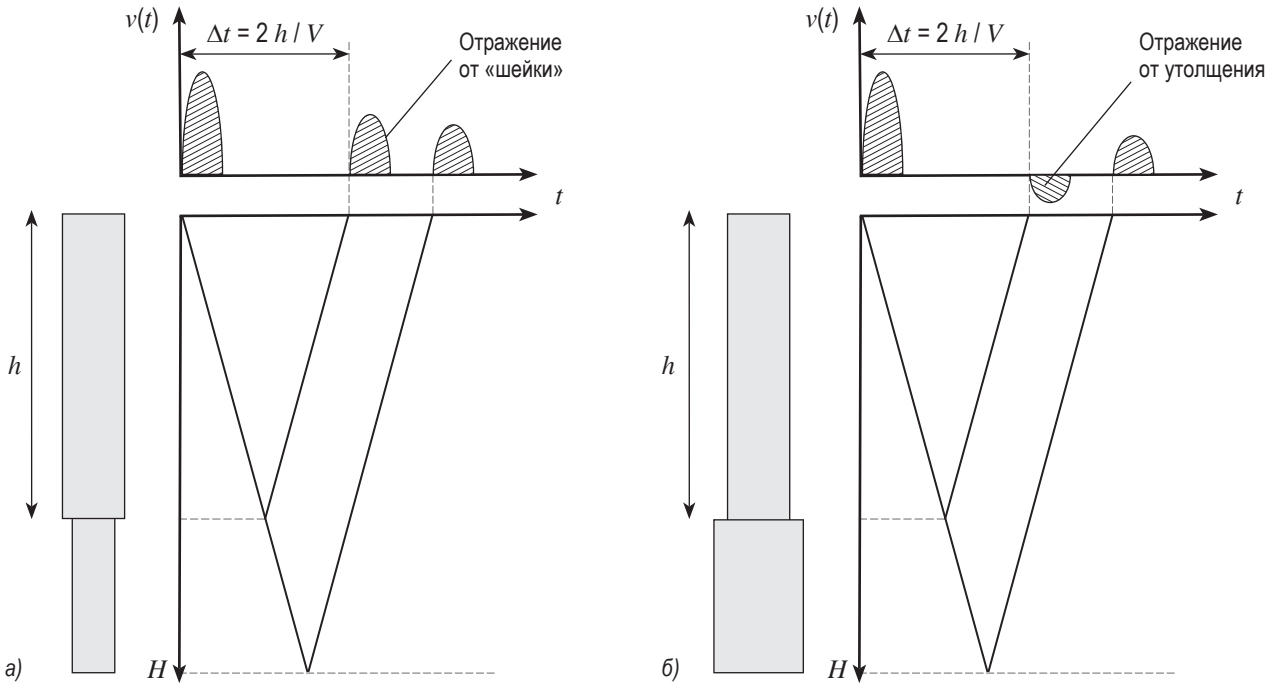

Рис. 3. Влияние формы сваи на получаемый отклик: а) пример уменьшения поперечного сечения, ухудшения качества бетона; б) пример увеличения поперечного сечения, улучшения качества бетона

Рис. 4. Пример установки датчика на железобетонную сваю

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ СИГНАЛОВ

Обработка и интерпретация сигналов, полученных при тестировании свай, должна производиться квалифицированным специалистом с помощью прилагаемого программного обеспечения (рисунок 5).

Несмотря на то, что процесс интерпретации сигнала (примеры сигналов приведены на рисунках 6 и 7) достаточно неоднозначный и зависит от опыта специалиста, можно выделить общую последовательность действий, которой желательно придерживаться:

1. Выполнить предварительную обработку сигналов. Усиление при этом подобрать таким, чтобы амплитуда предполагаемого отражения от конца свай была равна амплитуде удара. В простых случаях, когда присутствует четкое отражение, данный этап может быть выполнен программой автоматически. Если программа не определяет длину автоматически либо определяет неверное значение, нужно обработать сигнал вручную.
2. Определить опорный сигнал (усредненный сигнал для всех свай на площадке).
3. Отражения, присутствующие на опорном сигнале (кроме отражения от конца сваи), можно отнести к особенностям слоев грунта на площадке. Определить длину свай по формуле (1) для сигнала по временной области или по формуле (2) для спектрального отображения сигнала.
4. Проанализировать сигналы, отличающиеся от опорного. Дополнительные отражения могут соответствовать дефектам сваи или пустотам в грунте. При наличии серьезных дефектов отражение от конца сваи может отсутствовать. Определить расстояние до дефекта по формуле (1).

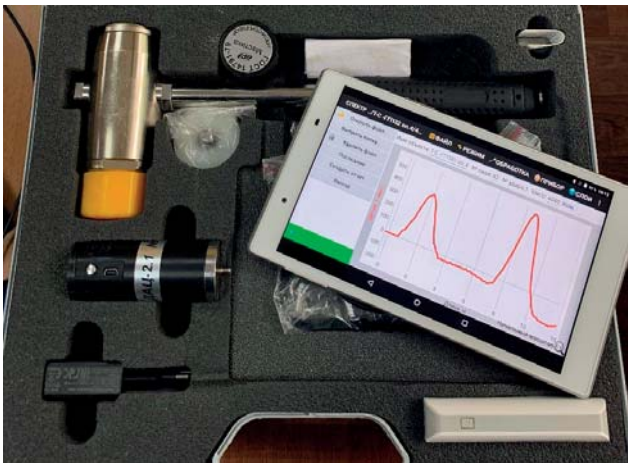

Рис. 5. Общий вид прибора для диагностики свай

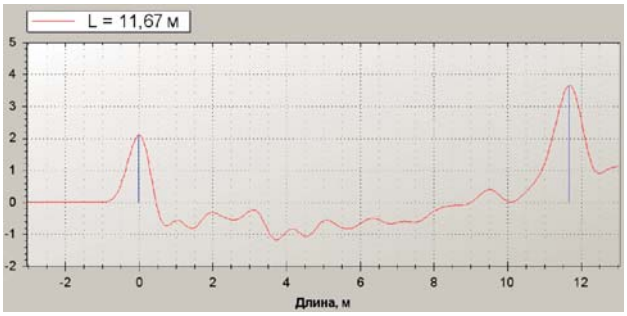

Рис. 6. Пример сигнала (нормальная свая, чистое отражение)

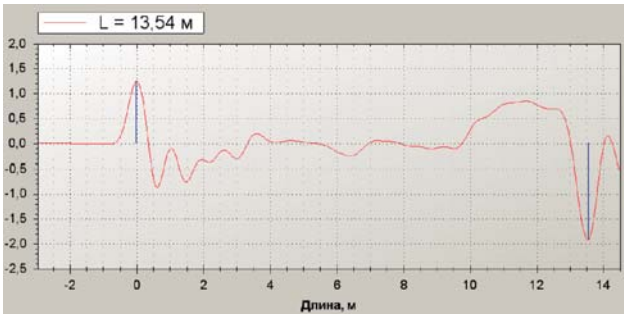

Рис. 7. Пример сигнала (нормальная свая, небольшой дефект вблизи верха сваи, отражение от подошвы обратной полярности — свая опирается на скалу)

ВЫВОДЫ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Результаты измерений длины свай оформляются в виде технического отчета с выдачей заключения. Фактическая длина свай влияет на устойчивость конструкции, долговечность фундамента и другие параметры. Погрешность в определении длины сваи может привести к ошибке в расчетах фактической несущей способности фундамента.

Путем решения указанных проблем является перестановка опор на новый фундамент. Это следующий этап, который является результатом диагностики длины свай, в котором задействована спецтехника, учитывающая особенности климата Ямало-Ненецкого автономного округа.