

Основна мета, що переслідується при здійсненні енергозберігаючих заходів, - економія теплової енергії, але ніхто не знає, яке грошове вираження цієї економії і який строк окупності капіталовкладень.

Не можна забувати про економічний ефект, що виходить за рахунок скорочення кошторисної вартості будівництва. Із впровадженням технологій зовнішнього утеплення з'явилася можливість внести принципові зміни в конструктивну схему будинків. Відтепер у вітчизняній практиці будівництва будинків більшість об'єктів зводиться із застосуванням збірно-монолітної технології, відповідно до якої спочатку відливається монолітний залізобетонний каркас, а потім монтується зовнішнє огороженні у вигляді кладки із цегли (250 мм) або пористо-бетонних блоків. Тобто замість традиційної цегельної кладки товщиною 64 см зводиться самонесуча стіна в одну цеглину й додається утеплювач. Якщо врахувати, що вартість кубічного метра цегли набагато вище вартості кубічного метра теплоізоляційного матеріалу, стає зрозумілим, яке конструктивне рішення дозволяє одержати більший економічний ефект. Це досить переконливе економічне обґрунтування застосування технологій утеплення.

Багатошарові системи зовнішнього утеплення дозволяють знизити навантаження на фундамент і, відповідно, скоротити витрати на його зведення.

У зв'язку з великою кількістю теплоізоляційних матеріалів, що мають різну вартість і коефіцієнт теплопровідності, виникає питання вибору найбільш економічно доцільного матеріалу. Для цього необхідно знайти вартість одного квадратного метра утеплювача у відношенні до будинку за наступною формулою:

$$C_{\text{опт}} = C_{\text{куб.м}} \times T_{\text{ут}}$$

де $C_{\text{опт}}$ – вартість одного квадратного метра утеплювача;

$C_{\text{куб.м}}$ – вартість одного кубічного метра утеплювача;

$T_{\text{ут}} = R_{\text{доп}} \times \lambda_{\text{ут}}$ – необхідна товщина утеплювача в метрах;

$R_{\text{доп}} = R_{\text{нов}} - R_{\text{стар}}$ – додатковий опір теплопередачі, на величину якого необхідно збільшити опір теплопередачі для досягнення сучасних вимог;

$R_{\text{нов}}$ – опір теплопередачі, що підлягає утепленню;

$R_{\text{стар}}$ – опір теплопередачі стіни за новими нормами;

$\lambda_{\text{ут}}$ - коефіцієнт теплопровідності утеплювача.

Сьогодні існують три основні групи економічних параметрів: витрати при виготовленні матеріалів і конструкцій; витрати при будівництві; витрати при експлуатації. Якщо орієнтуватися на дані, запозичені із закордонних джерел інформації, за рахунок економії тепла період окупності енергії, витраченої на виробництво даного утеплювача, становить від 1,5 до 13 місяців.

Основне завдання будівництва - це не економія енергії, а забезпечення потреби країни в будинках і спорудах. З погляду теплофізики, основним завданням є забезпечення санітарно-гігієнічних умов (комфортності) і довговічності.

Щоб одержати реальну економію енергоресурсів необхідно не тільки утеплювати стіни й покриття, але й удосконалити існуючі системи інженерного забезпечення будинків.

У роботі визначено такі критерії вибору теплоізоляційних матеріалів:

- коефіцієнт теплопровідності;
- щільність;
- твердість;
- вага;
- довговічність;
- пожежебезпечність;
- умови встановлення теплоізолятора;
- вартість;
- трудомісткість робіт по монтажу.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Монастирев П.В. Технология устройства дополнительной теплозащиты стен жилых зданий. Учебное пособие. – М.:Изд-во АСВ, 2000. – 160с.
2. Строительные материалы / Под общей редакцией В.Г. Миккульского – М.: Изд-во АСВ, 2000. – С. 402-419.

УДК 620.179.16

КОНТРОЛЬ ДЛИННОМЕРНЫХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭХО-МЕТОДА И СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СИГНАЛОВ

*В.П. Глуховский, к.т.н., Н.Г. Марьенков, к.т.н., А.Е. Вусатюк, м.н.с.
Государственный научно-исследовательский институт строительных конструкций (НИИСК), г.Киев*

Постановка проблемы. Железобетонные составные забивные сваи – один из типов свай, используемых для фундаментов зданий и сооружений. Соединение отдельных секций таких свай выполняется с помощью сварных или болтовых стыков, обеспечивающих равнопрочность стыкового соединения и соосность элементов. Элементы стыков выполняются в виде стальных закладных деталей [1]. Конструктивная особенность (секционность) свай создает значительные трудности при контроле сплошности ствола акустическими методами, основанными на ударном возбуждении изделий. Несмотря на значительные возможности современных систем диагностики свай в грунте, для составных свай не обеспечивается высокая достоверность оценки сплошности ствола по всей их длине.

Для проведения экспресс-диагностики свай в мировой практике широко используются низкодеформационные динамические испытания ITS (Integrity Test System), являющиеся разновидностью применяемого в геотехнике метода PDA (Pile Driving Analysis). Эти испытания позволяют определять по

временным характеристикам длину сваи и ее однородность, наличие дефектов и включений инородного материала, анализировать изменения грунтовых условий и поперечных сечений ствола. Для увеличения объема и повышения достоверности информации при испытаниях используются также параметры реакции оголовка сваи на импульсное воздействие. Информативным параметром при этом является отношение колебательной скорости верха сваи к силе удара, а качественной характеристикой – частота начальной части импульса. По такой технологии определяют динамическую жесткость у оголовка сваи, характеризующую условия его взаимодействия с грунтом.

ITS испытания предусматривают нанесение с помощью специального молотка механического удара в направлении продольной оси сваи и регистрацию отраженных волн с последующей временной и спектральной обработкой. Сущность наиболее часто используемой временной обработки заключается в следующем. В результате короткого механического воздействия на поверхность сваи волна сжатия (акустическая волна), вызванная импульсом удара, распространяется вдоль сваи. Возникающие отражения характеризуют различия в сопротивлении Z сваи, которое может быть представлено как

$$Z = \rho C / S, \quad (1)$$

где ρ – плотность материала, C – скорость продольной волны; S – площадь поперечного сечения сваи; ρC – характеристический импеданс материала.

Из формулы (1) следует, что отраженные волны могут быть вызваны изменениями поперечного сечения и импеданса материала. Такие значительные изменения вносит стык сваи, который вызывает отражения упругих волн, препятствующих прохождению импульса к основанию, и затрудняет успешное проведение диагностики из-за отсутствия полной волновой картины по всей длине.

Расстояние L до отражающей поверхности или дефекта рассчитывается по формуле

$$L = Ct / 2, \quad (2)$$

где t – время прихода отраженной волны.

Позиционирование отраженных волн устанавливается от верхнего конца сваи до самого нижнего отражателя, которым является ее основание. То есть в этом режиме анализируется только начальная часть импульса и масштабная реализация расстояния полностью зависит от правильного определения скорости продольной волны. Масштаб имеет физический смысл только для отражателей в самой свае и не включает сигналы, отраженные от грунта. Его также невозможно применить к самому импульсу, который, по сути, не является отраженной волной.

Другой вид обработки сигналов – спектральный анализ. Он заключается в определении частотных пиков (гармоник), соответствующих длине сваи и расчету этой длины по формуле

$$L = C / 2 \Delta F, \quad (3)$$

где ΔF – разность частоты между соседними пиками.

Спектральная обработка используется значительно реже. Это связано с тем, что для диагностики изделий конкретной формы необходимо производить выбор подлежащей регистрации моды колебаний, ее опознавание и расшифровку в частотном спектре. Для свай в грунте (особенно водонасыщенном) технически сложно и не всегда возможно выявить несколько частотных пиков, соответствующих длине сваи для однозначной интерпретации оператором результатов испытаний. Кроме того, для корректного выполнения спектральной обработки требуется специальная подготовка операторов, несущих ответственность за полученные результаты.

Мировым лидером в разработке технических и программных средств диагностики свай является фирма Pile Dynamics, Inc., США. Профессиональные версии программного обеспечения для поставляемого оборудования (например, PIT-W [2]) содержат временную (Profile Analysis) и частотную (Frequency Analysis) обработку зарегистрированных сигналов. Программный модуль Profile реализует необходимые опции для определения импеданса и глубины сваи и представления результатов в форме рефлектограммы. Модуль Frequency предназначен для автоматического вычисления частотных спектров силового и частотного показателей при исследованиях динамической жесткости оголовка сваи, а также, в случае успешной технической реализации, – соответствия длины главным частотным пикам.

Результаты численных исследований. Для определения возможности проведения диагностики конкретного типа свай в грунтовых условиях, близких к реальным, важным является численное моделирование акустических сигналов при варьировании влияющих факторов. Такие исследования были выполнены для конечно-элементной модели грунта ссосредоточенными массами и вязкой демпфирующей границы, параметры которой определены по методике Лизмера [3].

Расчетная динамическая модель системы «свая-грунт» приведена на рис. 1 а. Жесткостные и демпфирующие характеристики грунта определены по методике СНиП [4] на основе материалов инженерно-геологических исследований. При расчетах с помощью программного комплекса ЛИРА (разработанного институтом НИИАСС, г. Киев) определялись параметры скорости (V_z) и ускорения (A_z) сигнала при возбуждении импульсом удара составной сваи диаметром 35 см (длина верхней секции, нижней секции и стыка соответственно равны 9 м, 8 м и 1 м) для случаев среднего и высокого демпфирования грунта.

На рис. 1 б-г приведены расчетные временные сигналы для V_z и A_z в ключевых узлах (862, 1274) расчетной модели. Анализ показывает, что эти характеристики имеют близкие значения. Под стыком сваи (рис. 1 б) может регистрироваться прямая волна (2,5 мс) и отраженная от основания волна (6,5 мс), которая суммируется с отражением от оголовка. В верхней точке оголовка (рис. 1 в-г) может быть получено отражение от основания (9 мс), однако с учетом суммирования с другими отражениями, его однозначная интерпретация затруднительна и требует экспериментальной проверки.

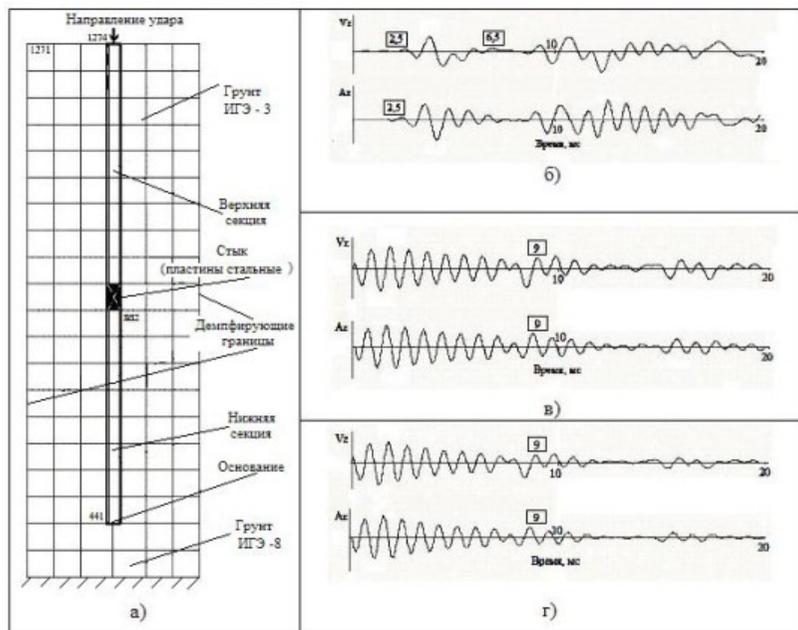


Рис. 1. Расчетная схема (а) и временные параметры скорости V_z и амплитуды A_z в точке ниже стыка (б) и в верхней точке оголовка (б-2) при среднем (б-в) и высоком (г) демпфировании составной сваи

Исследования, выполненные в НИИСК, были направлены на создание аппаратуры для контроля как плоских, так и длинномерных стержневых конструкций. Отработка подходов к измерениям плоских конструкций выполнялась с учетом основных положений стандартизованного в США [4] ударного эхо-метода (УЭМ), позволяющего определять толщину и выполнять дефектоскопию плит, бетонных покрытий, стен и других плоскостных конструкций. УЭМ основан на возбуждении индентором поверхности, регистрации приемным преобразователем сигнала и его дальнейшей спектральной обработке, сущность которой заключается в определении основной частоты F колебаний, соответствующей резонансу по толщине бетона. При наличии дефекта в бетоне определяются две частоты, соответствующие резонансу по толщине до дефекта и резонансу по толщине плиты. Расстояние L до дефекта или толщина бетонной конструкции рассчитываются по формуле

$$L = C/2 F. \quad (4)$$

Первичный резонанс (стоячая волна) по толщине плиты при гармонических возбуждениях наступает тогда, когда колебания двух поверхностей плиты совпадают с колебаниями возбудителя. Поэтому при импульсной реализации такой связи критическими являются параметры ударного устройства для обеспечения в конкретном изделии необходимого

частотного диапазона и энергии импульса. Применительно к сваям, использование УЭМ требует также получения и однозначной интерпретации основного пика в спектре, соответствующего времени распространения сейсмоакустического сигнала по длине сваи.

При распространении импульса удара в стволе сваи его амплитуда интенсивно уменьшается из-за поглощения (демпфирования) энергии окружающим грунтом и затухания в бетоне. Причем вследствие частотно-зависимого характера затухания, обладающего свойствами низкочастотного фильтра, более высокочастотные составляющие затухают сильнее, что приводит к «растягиванию» импульса по мере удаления от его начала. Самой низкой частотой в спектре сигнала при осевом возбуждении стержневой конструкции является частота, соответствующая двойному пробегу волны от оголовка сваи до ее основания.

Исследованное частотное селектирование импульса, происходящее при его распространении в стволе, было использовано при спектральной обработке импульсов удара в составных сваях. Ее сущность состоит в определении основных пиков низкочастотной («хвостовой») части импульсов. Для повышения точности вычисляются усредненные спектры нескольких импульсов.

Результаты экспериментальных исследований. Ниже на примере двух свай показаны результаты определения фактической длины свай фундаментов жилого дома по Николаевской дороге, микрорайон Лузановка в г. Одессе. Сваи составные, сечением 35 x 35 см (свая № 17 с проектной длиной 17 м и № 14 с проектной длиной 18 м), состоят из двух секций, соединенных с помощью сварки (рис. 2). Длина ствола нижней секции с квадратным сечением – 8 м, острая – 0,3 м. Погружение свай в грунт (№17 – в 2007 г., №14 – в 1991 г.) выполнено по технологии виброудавливания.

Для получения достоверных практических результатов были выполнены экспериментальные исследования на отдельных нижних секциях непогруженных свай. Для этого использовался созданный в НИИСК программно-технический комплекс ТКС-1 [6], прошедший государственную метрологическую аттестацию в Укрметрестстандарте (свид. № 22-1434 от 10.12.2004 г.). Ударные импульсы возбуждались специальным ручным молотком с резиновым наконечником и регистрировались пьезопреобразователем с рабочей частотой 25 кГц.



Рис. 2. Сварной стык составной сваи: а) - схема; б) - общий вид элементов

При испытаниях секции во временном сигнале выявлялось до четырех отраженных от основания импульсов, следовавших (последовательно) со средним интервалом 4,26 мс (рис. 3 а). В амплитудном спектре регистрировалось до десяти частотных пиков со средней частотной разницей между соседними гармониками 236 Гц (рис. 3 б). Основной частотный пик (240 Гц) в спектре сейсмоакустического сигнала соответствовал стоячей волне по длине секции.

Расчетная длина секции по временному интервалу, частотной разности и основной частоте (2-4) соответственно составила 8,63 м, 8,58 м и 8,44 м. Длина рассчитывалась для средней скорости продольной волны в бетоне сваи (4050 м/с), измеренной серийным ультразвуковым прибором УК14-ПМ по сечениям секций и оголовков свай, расположенных в грунте.

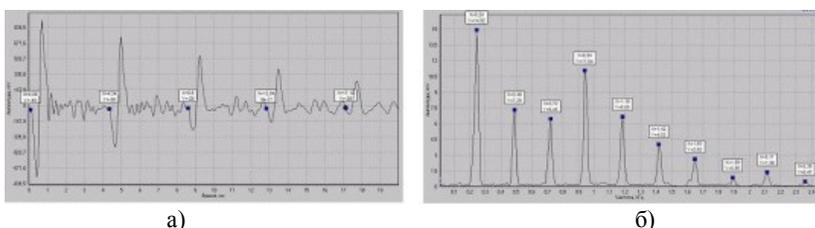


Рис. 3. Временной сигнал (а) и амплитудный спектр (б) одиночного импульса удара в непогруженной нижней секции сваи

Полевые испытания свай предусматривали одновременную запись от трех до пяти ударных импульсов при разных коэффициентах усиления и их дальнейшую временную и спектральную обработку. Анализ полученной информации показал, что во временных сигналах (рис. 4) выявлялись отражения только от стыков свай (4,1 мс – для сваи №17 и 4,74 мс – для сваи №14). Отсутствие эхо-сигналов от оснований свай (в отличие от расчетной модели) подтвердило низкую эффективность такой обработки при диагностировании составных свай.

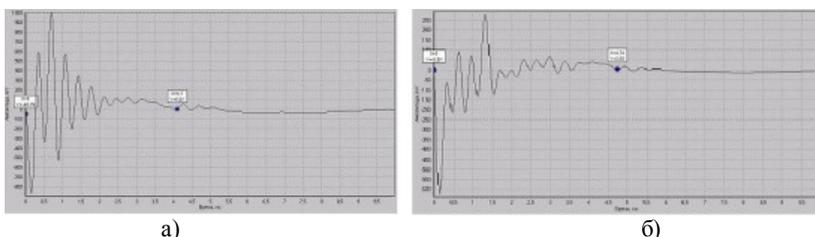


Рис. 4. Временной сигнал импульса удара в сваях №17 (а) и №14 (б)

В спектрах сигналов регистрировались частотные пики: 120 Гц, 260 Гц – для сваи №17 и 110 Гц, 240 Гц – для сваи №14 (рис. 5). Сравнение этих данных с результатами, полученными для нижних секций свай, а также с учетом того, что анализировались только конечные части импульсов, можно сделать вывод о том, что частотные пики соответствуют отражениям от основания и стыка свай.

Расчетная длина до основания и до стыка соответственно составила 16,9 м, 7,8 м – для сваи №17 и 18,4 м, 8,4 м – для сваи №14.

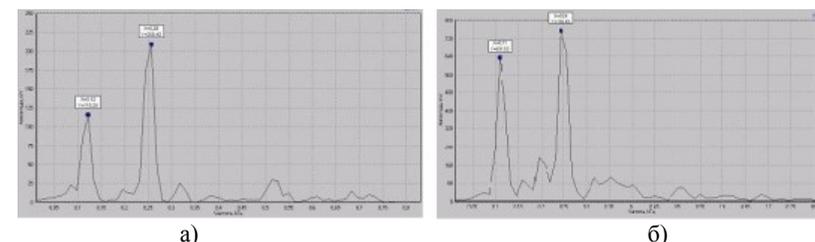


Рис. 5. Усредненный амплитудный спектр трех импульсов в сваях №17 (а) и №14 (б)

Надежная и однозначная регистрация частотных пиков, соответствующих отражениям от основания и стыка свай, позволила обследовать другие сваи фундаментов и оценить сплошность их ствола.

Выводы.

1. Экспресс-диагностика сплошности ствола составных свай на основе временной обработки импульса удара является недостаточно эффективной из-за сложности получения эхо-сигнала от оснований свай.
2. Использование ударного эхо-метода со спектральной обработкой конечной части импульсов позволяет надежно регистрировать частотные пики в спектрах, соответствующие расстоянию до стыка и до основания свай для успешного проведения их диагностики.
3. Дальнейшие расчетно-экспериментальные исследования волновых процессов в сваях необходимо проводить на основе спектрального анализа с учетом разных форм колебаний и разных грунтовых условий.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Руководство по проектированию свайных фундаментов. – М.: НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР, 1980. – 211 с.
2. PИТ–W. Operation manual / Pile dynamics, inc., 2003. – 57 с.
3. Бирбраер А.Н. Расчет конструкций на сейсмостойкость. – СПб.: Наука, 1998. – 255 с.
4. СНиП 2.02.05-87. Фундаменты машин с динамическими нагрузками./ Госстрой СССР. –М.: ЦИТП, 1988. – 32 с.