

Строительные конструкции, здания и сооружения

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-3-9>
УДК 69.058+693.5

С.Н. Леонович, Д.Ю. Снежков, Н.А. Будревич

ЛЕОНОВИЧ СЕРГЕЙ НИКОЛАЕВИЧ – д.т.н., профессор, декан строительного факультета, SPIN: 2514-7976, ResearcherID: D-8864-2018, ORCID: 0000-0002-4026-820X, ScopusID: 44661420200, leonovichsn@tut.by
СНЕЖКОВ ДМИТРИЙ ЮРЬЕВИЧ – к.т.н., доцент (автор, ответственный за переписку), ResearcherID: E-5749-2018, ORCID: 0000-0002-1826-7139, snezhkov-d-u@yandex.by
БУДРЕВИЧ НЕЛЛИ АНАТОЛЬЕВНА – аспирант, nelli budrevich@mail.ru
Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Анализ эхо-импульсного метода контроля буронабивных свай

Аннотация: Представлены результаты натуральных и вычислительных экспериментальных исследований эхо-импульсного метода. Приведены характерные рефлектограммы протяженных железобетонных элементов и буронабивных свай. Отмечены факторы, затрудняющие интерпретацию данных контроля. Представлен анализ процесса формирования фронтов составляющих акустического импульса при его ударном возбуждении. Дана оценка влияния армирования на скорость распространения акустического импульса в массиве свай.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, эхо-импульсный метод, сваи буронабивные, длина сваи, геологический профиль, моделирование волн, армирование

Введение

Акустические методы в настоящее время практически не имеют альтернативы при контроле целостности крупноразмерных и протяженных железобетонных изделий в случаях, когда доступ к изделию ограничен (элементы фундамента, сваи и т.п.). Типичный метод при контроле сплошности и длины железобетонных свай – вибрационно-акустический или его западная версия – эхо-импульсный метод (*Puls Echo Method – PEM*). Испытания осуществляются путем формирования импульса акустической волны и регистрации его отклика от неоднородностей в теле сваи. Основным информационным параметром является интервал времени между моментом инициации акустического импульса и моментом регистрации отраженных акустических сигналов. В качестве дополнительных параметров можно рассматривать амплитудные и частотные показатели измеренных колебательных ускорений и скорости в точках контроля при прохождении акустической волны. Ориентировочное значение скорости распространения акустической волны в бетоне сваи может определяться путем проведения предварительных калибровочных испытаний на складываемых на строительной площадке сваях по известной их длине и измеренному времени появления акустического отклика, что возможно только для забивных свай на стадии возведения объекта. При контроле установленных в проектное положение забивных или изготовленных буронабивных свай можно воспользоваться либо ультразвуковым импульсным (по ГОСТ 17624-2012 [1]), либо вибрационно-акустическим методами применительно к поперечному сечению выступающей части сваи.

Несмотря на то что применение указанных методов контроля железобетонных свай уже перестало быть редкостью, уровень их методической регламентации оставляет желать лучшего. Главная проблема – сложность однозначной интерпретации полученного эхо-сигнала.

© Леонович С.Н., Снежков Д.Ю., Будревич Н.А., 2021

Статья: поступила: 28.04.2021; рецензия: 28.05.2021; финансирование: Белорусский национальный технический университет.

Имеющиеся рекомендации по применению эхо-импульсного метода ориентируются на американский ASTM D5882 – 16: “Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations”. Данный стандарт устанавливает минимальные требования к процедуре испытаний свай путем приложения ударной нагрузки малой интенсивности. Полученные данные позволяют оценить длину, целостность и сплошность свай, а также прочностные характеристики бетона свай, хотя оценка является приблизительной. Следует иметь в виду, что измеренные интервалы времени отраженного акустического импульса непосредственно не содержат информацию о несущей способности свай, хотя указанный показатель зависит от контакта боковой поверхности свай с грунтом и косвенно должен проявлять себя в показателе затухания эхо-импульса.

Цель настоящей статьи – анализ физических процессов эхо-импульсного метода испытаний и основных факторов, препятствующих точной и однозначной интерпретации результатов выявления неоднородности железобетонных свай по длине.

Методика измерений

Отражение волны от границы раздела сред происходит из-за изменения полного акустического импеданса свай. Акустический импеданс Z для стержня из однородного материала определяется как

$$Z = S \cdot \sqrt{E \cdot \rho}, \tag{1}$$

где S – площадь сечения свай, E – модуль упругости, ρ – плотность материала свай.

Любое изменение S , E или ρ приведет к изменению импеданса и, как следствие, к отражению акустической волны и формированию так называемого эхо-импульса. Отражения могут вызвать: конец свай; уменьшение/увеличение поперечного сечения; трещина; изменение плотности бетона; контрастная смена слоёв грунта по глубине расположения свай. Не вызывают отражения мелкие и распределенные по длине свай дефекты, например постепенное изменение диаметра, изгиб с большим радиусом кривизны. От знака изменения импеданса на границе раздела сред зависит знак отражения (рис. 1). Если значение импеданса уменьшилось (уменьшение поперечного сечения, ухудшение качества бетона), то отраженный импульс будет совпадать по знаку с ударным, а если увеличилось (увеличение поперечного сечения, улучшения качества бетона), то амплитуды будут противоположных знаков. Длина свай H , при известной скорости распространения волны V , рассчитывается по формуле (2)

$$H = \frac{V \cdot t}{2}. \tag{2}$$

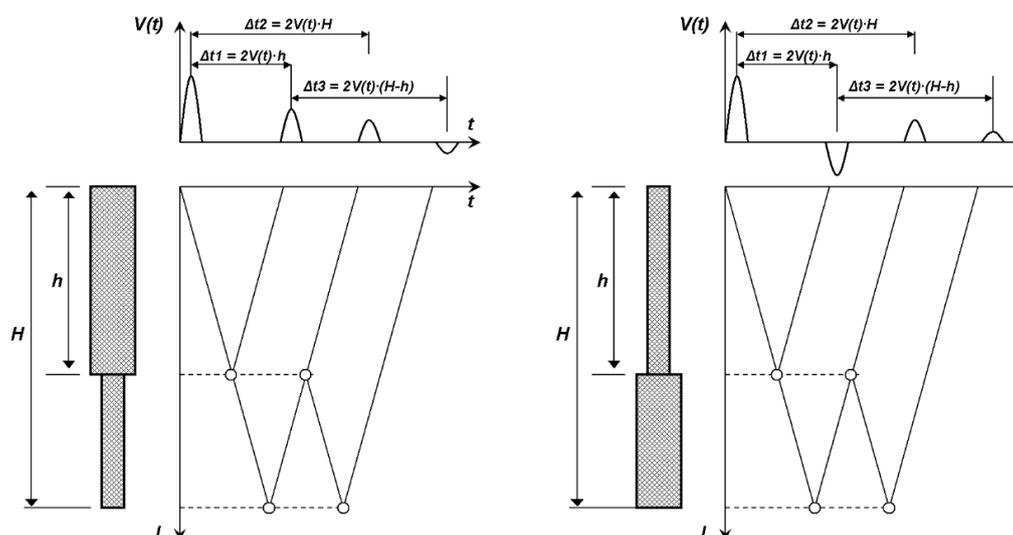


Рис. 1. Влияние формы свай на форму акустического отклика. Здесь и далее рисунок авторов

Параметры V и t в формуле (1) следует рассматривать как приведенные, учитывающие связь тела сваи с окружающим её грунтом, физико-механические характеристики слоев которого могут заметно отличаться. Поэтому для большей достоверности результатов контроля важно учитывать грунтовый профиль и технологию возведения сваи [3]. Обычно указанные факторы при анализе эхо-сигнала игнорируются либо рассматриваются исключительно на качественном уровне.

Количественный расчет может базироваться на компьютерных конечно-элементных (КЭ) моделях. На рис. 2 приведена рефлектограмма буронабивной сваи длиной около 20 м и диаметром 0,85 м. Иницирующий удар производился штатным молотком с эластичным сменным бойком прибора «Спектр-3».

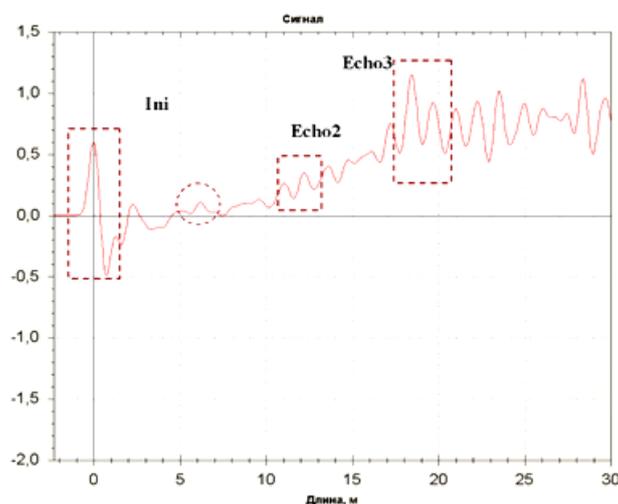


Рис. 2. Рефлектограмма сваи № 2:
Ini – иницирующий импульс (удар); **Echo2, Echo3** – эхо-импульсы

Импульс Echo3 соответствует отражению от пяты сваи. Импульс Echo2 не удалось однозначно идентифицировать. На рис. 2 присутствует импульс (обведен окружностью), появление которого согласуется с зафиксированной во время работ по выборке грунта глубине контрастной смены геологических слоев. Для импульса Echo2 такая информация отсутствует.

Повышение информативности и достоверности контроля свай может быть получено совместным использованием акустических и радиоволновых методов. Грунтовый профиль, по данным [2, 3], регистрируется радиоволновыми методами достаточно контрастно. Скорость распространения радиоволны зависит от электрофизических свойств грунта, поэтому георадар требует калибровочной настройки с привязкой к известным отметкам, которые могут быть определены акустическим методом. Очевидно, что совместное использование комплекса акустических и электромагнитных методов позволит повысить надёжность и точность решения задачи определения длины и сплошности бетонных и железобетонных свай.

Другая проблема использования эхо-импульсного метода – сложность селекции информационных компонентов акустического сигнала на фоне присутствия многочисленных помех. Большая их часть обусловлена стоячими волнами в пределах поперечного сечения сваи, в частности стоячей поперечной волной, возникающей после точечного ударного воздействия. Выпуски арматурного каркаса сваи также могут являться причиной сильных квазигармонических помех, маскирующих полезный эхо-сигнал.

При контроле свободно лежащих свай и балок обычно трудностей с анализом акустического сигнала не возникает: отраженный эхо-сигнал практически не испытывает затухания, его амплитуда в точке регистрации близка к уровню иницирующего импульса. На рис. 3 (железобетонная балка длиной 12 м) отчетливо видны три последовательно принятых эхо-сигнала, амплитуда которых за каждый из 6 проходов (в общей сложности путь пробега составил 72 м) снижалась лишь на 30%.

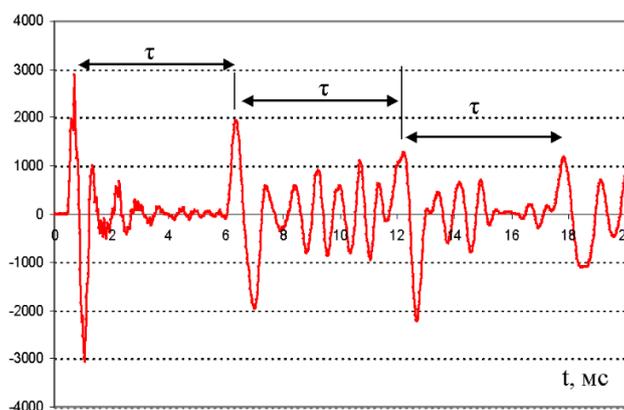


Рис. 3. Диаграмма эхо-сигнала для железобетонной балки длиной 12 м: максимальный линейный размер сечения 0,65 м

Задержка эхо-сигнала τ составила 5,9 мс. Скорость продольной волны $V_l = 4380$ м/с определена ультразвуковым импульсным методом. Динамический коэффициент Пуассона ν принят равным 0,21 [5]. Период инициирующего импульса (см. рис. 3) составляет около 1,2 мс, что соответствует частоте ~ 830 Гц. Условия распространения продольной волны вдоль балки соответствуют стержневой модели. Исходя из этого рассчитаем «стержневую» скорость V_s из соотношения

$$V_l^2 = V_s^2 \frac{(1-\nu)}{(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}, \quad (3)$$

$$V_s^2 = V_l^2 \frac{(1-2\nu) \cdot (1+\nu)}{(1-\nu)} = 4380 \cdot \frac{0,58 \cdot 1,21}{0,78} = 4380 \cdot 0,90 = 3942 \text{ м/с.}$$

Расчетная длина балки составила $L = 3942 \cdot 5,8 \cdot 10^{-3} \cdot 0,5 = 11,63$ м. Ошибка расчета составила $-3,3\%$. Заметного увеличения длительности зондирующего импульса за счет проявления дисперсионных эффектов не зарегистрировано.

Плотный контакт боковой поверхности сваи с грунтом вызывает рассеивание энергии акустического сигнала при его прохождении вдоль сваи. Для компенсации этого ослабления сигнал усиливается. Рекомендуется усиление сигнала делать адаптивным к пройденному расстоянию или времени задержки, считая коэффициент затухания B постоянным. На рис. 4, а для сопоставления приведен исходный эхо-сигнал и сигнал после усиления с коэффициентом усиления k , зависящем от времени задержки t (мс),

$$k = e^{Bt}. \quad (4)$$

Очевидно, что показатель затухания B зависит от технологии изготовления сваи, её диаметра, а также от характеристик грунта и условий взаимодействия боковой поверхности сваи с грунтом. На рис. 4, б приведена рефлектограмма буронабивной сваи диаметром 0,85 м, ориентировочная длина $L \approx 21$ м.

Для диаграммы (рис. 4, б) характерно появление в усиленном акустическом сигнале шумовой (стохастической) составляющей, соизмеримой с полезным эхо-сигналом от уровня 24 м и более, который можно рассматривать как технический предел системы контроля при определении длины сваи данного типа и диаметра в данных геологических условиях. Наличие отрицательно всплеска для отметки 6,5 м может указывать на контрастную смену геологических слоев грунта либо на увеличение сечения сваи.

Повышению точности и надежности интерпретации данных может способствовать развитие методов численного моделирования. Точность определения длины и расположения мест

нарушения сплошности железобетонных свай определяется в первую очередь точностью оценки скорости распространения акустического импульса в теле свай.

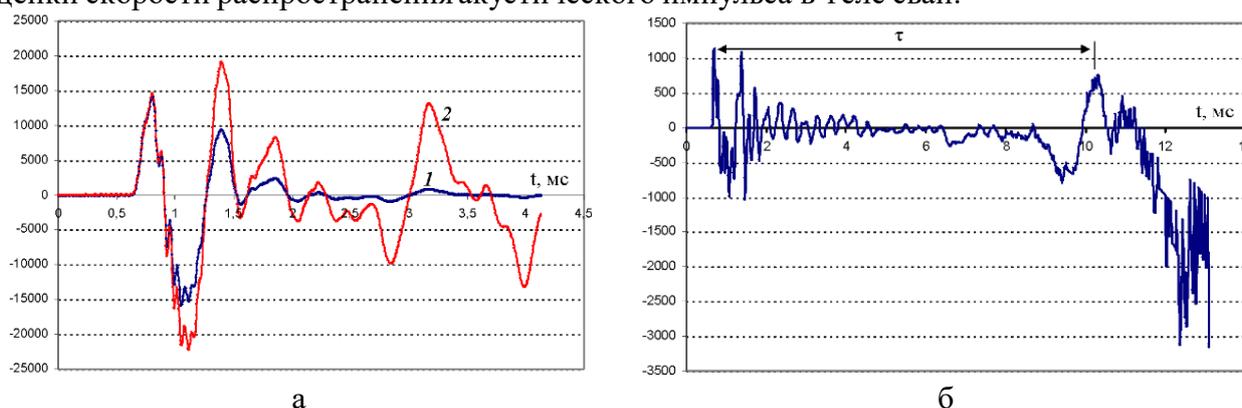


Рис. 4. Временные диаграммы (рефлектограммы) эхо-сигнала, свая:
а – сечение 0,3x0,3 м, длина ~ 6 м: 1 – без усиления, 2 – с усилением ($B = 1,152$);
б – диаметр 0,85 м, длина ~ 21 м; показатель усиления сигнала с $B = 0,703$

Моделирование процесса распространения волны акустического импульса в бетонном массиве с армированием

Одним из факторов, которые вносят неопределенность в оценку скорости распространения акустического импульса в теле свай, является её армирование, поскольку скорость продольной акустической волны в стали примерно в 1,5 раз выше скорости в однородном бетоне. В существующих руководствах по использованию эхо-импульсного метода данное обстоятельство не рассматривается. Кроме того, при точечном ударном возбуждении акустического импульса в теле свай возникают сопутствующие «паразитные» акустические волны, значительно усложняющие для анализа регистрируемый сигнал.

Для уточнения картины распространения акустического импульса в армированном бетоне исследовался виртуальный образец – конечноэлементная осесимметричная модель, представляющая собой цилиндр длиной 400 мм и радиусом 150 мм. Параметры материала модели: $E_2 = 20$ ГПа; $\nu_2 = 0,2$; $\rho_2 = 2400$ кг/м³.

Задача моделирования – уточнение картины формирования волнового процесса и определение степени влияния армирования на оценку скорости распространения акустического импульса в железобетонном образце. В качестве модели рассматривался цилиндрический бетонный образец с одиночным стальным стержнем. Положение оси стального стержня принято совпадающим с осью цилиндрического бетонного массива модели. Среда распространения волны рассматривалась как среда без демпфирования, поэтому амплитудные (энергетические) соотношения фронтов распространения импульса определяются исключительно геометрическими эффектами и волновым сопротивлением материала стержня и окружающей его матрицы [4]. С целью «контрастного» отображения фронта волны акустический импульс инициируется кратковременным силовым воздействием, его длительность T_n принята равной 7 мкс, что значительно меньше характеристического периода τ колебаний образца длиной 0,4 м, т.е.

$$\tau = \frac{L}{V_l} = \frac{0,4}{5900} = 68 \text{ мкс} . \quad (5)$$

Амплитуда импульса силового воздействия принята 1 Н, характеристики материала стержня приняты типовыми: $\rho_1 = 7800$ кг/м³; $E_1 = 260$ ГПа; $\nu_1 = 0,3$. Для таких параметров амплитуды расчетное значение «стержневой» скорости акустического импульса V_1 составило

$$V_1 = \sqrt{\frac{E_1}{\rho_1}} = 5774 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} . \quad (6)$$

Скорость распространения объемной продольной волны «бетонного цилиндра» V_2 определяется соотношением

$$V_2 = \sqrt{\frac{E_2(1-\nu)}{\rho_2(1+\nu) \cdot (1-2\nu)}} = 3110 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}, \quad (7)$$

а скорость распространения «стержневой» продольной волны $V_{2,s}$ при принятой плотности бетонного цилиндра $\rho_2 = 2300 \text{ кг/м}^3$ –

$$V_{2,s} = \sqrt{\frac{E_2}{\rho_2}} = 2950 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}. \quad (8)$$

До дистанции распространения порядка 2...3 диаметров бетонного образца акустическую волну можно считать объемной при любой длительности импульса и регистрации времени распространения на минимальном пороге переднего фронта. На больших дистанциях проявится частотная дисперсия, выражающаяся в асимптотическом снижении скорости распространения низкочастотных составляющих волны акустического импульса от значения $3110 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ соответствующего объемной волне, до значения «стержневой» скорости $2950 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Режим возбуждения и регистрации импульса в рассматриваемой модели принят предельным – воздействием импульса силы $P(T)$ непосредственно по торцу арматурного стержня. Присутствие стального стержня вносит значительные изменения в характер формирования и распространения волнового импульса. Поскольку скорость импульса в стержне более чем в полтора раза превосходит скорость импульса в бетонном массиве, то волновой фронт будет представлять собой конус,двигающийся вдоль оси Z со скоростью около 5800 м/с . При этом в нормальном направлении скорость V_L с фронта импульса будет совпадать со скоростью объемной волны в бетоне, т.е. $3110 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

На рис. 5, *а,б* по данным конечно-элементного моделирования отображены позиции фронтов импульсов деформации в армированном бетонном образце в разные моменты времени: 17 и 49 мкс. Диаметр стержня – 8 мм. Штриховой линией в рис. 5 обозначено расчетное положение сферического фронта импульса деформации, соответствующего моделируемому образцу без армирования. Так как вершина распространяющегося вдоль оси арматуры конуса имеет малый радиус кривизны (соизмеримый с диаметром арматурного стержня), то в этой зоне фронта происходит быстрое снижение интенсивности колебаний за счет передачи энергии волны в арматурном стержне двум волновым составляющим, уходящим в массив образца.

Одна составляющая волны в бетоне представлена фронтом продольной волны $V_{L,C}$, вторая – фронтом поперечной волны $V_{T1,C}$ (штрихпунктирная линия на рис. 5, *б*). В зоне конуса наблюдаются дисперсия фронта – постепенное его «размытие» в границах конуса и сферы. На рис. 6, *а* показано положение фронтов импульсов в момент времени 62 мкс, когда происходит заметное ослабление «лидирующего» фронта-конуса в арматуре и передача большей части колебательной энергии волне в бетонном массиве. Виден фронт поперечной волны $V_{T1,C}$, который продолжает «сопровождать» совместно с фронтом $V_{L,C}$ вершину волнового конуса в арматуре, интенсивность которого вблизи вершины конуса также заметно снизилась. Проявился новый фронт поперечной волны, распространяющийся со скоростью V_{T2} и формирующийся в точке переизлучения s на боковой поверхности цилиндрического модельного образца.

К моменту времени 75–80 мкс (см. рис. 6, *б*) проявляют себя только сферические фронты бетонного массива, волна в стальном стержне свою энергию израсходовала.

По окружности, пересекающей точку s боковой поверхности образца-модели, продолжается трансформация фронта импульса продольной волны во фронт импульса поперечной волны с вектором скорости распространения фронта $V_{T2,C}$. В начальной стадии формирования фронта $V_{T2,C}$, когда точка s находилась в крайней левой позиции, её скорость значительно превышала скорость фронта продольной волны, и поверхность фронта $V_{T2,C}$ вблизи торца образца была коаксиальна с его боковыми стенками. По мере распространения фронта продольной волны скорость перемещения точки s в направлении оси образца замедляется и приближается

к стержневой скорости продольной волны, при этом происходит некоторое снижение интенсивности фронта $V_{T2,C}$. На большом удалении от точки инициации колебаний сферический фронт продольной волны $V_{L,C}$ выродится в плоский, а поверхность фронта V_{T2} выродится в конус с вершиной, направленной к торцу образца. Этот фронт будет сопровождать фронт продольной волны, сохраняя интенсивность, прямо пропорциональную интенсивности фронта продольной волны.

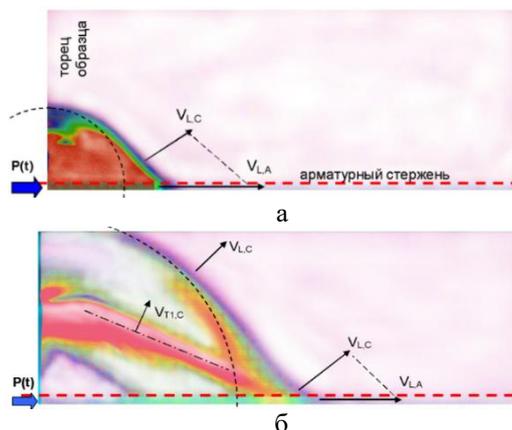


Рис. 5. Пространственное распределение смещения узлов КЭ модели армированного бетонного образца в момент времени:
а – 17 мкс после инициирующего импульса, $V_{L,C}$, $V_{L,A}$ – векторы скорости распространения фронтов импульсов продольных волн в бетоне и арматурном стержне; б – 49 мкс после инициирующего импульса

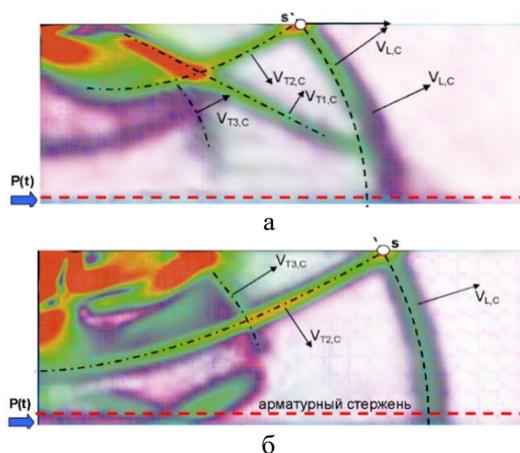


Рис. 6. Пространственное распределение смещения узлов КЭ модели армированного бетонного образца в момент времени после инициирующего импульса:
а – 62 мкс: $V_{L,C}$, $V_{T1,C}$, $V_{T2,C}$ – векторы скорости фронтов импульсов продольной и поперечной волн; б – 77 мкс

Также на рис. 6, б стал заметен фронт $V_{T3,C}$. Анализ поляризации колебаний этого фронта не производился, но его расположение под углом $30-40^\circ$ по отношению к оси образца согласуется с типовой диаграммой направленности (максимуму диаграммы соответствует угол $\sim 37^\circ$) бокового лепестка поперечной волны при рассматриваемом точечном способе инициации колебаний в образце. Этот фронт, переотражаясь от стенок цилиндрического образца, будет также сопровождать «лидирующий» плоский фронт продольной волны на всем пути его распространения, постепенно отставая от него.

Приведенный качественный анализ формирования волновой картины в цилиндрическом образце указывает на то, что структура акустического отклика протяженного элемента выглядит значительно сложнее, чем это обычно показывают в руководствах к приборам ударно-импульсного метода. В частности, в приторцевой области образца (см. рис. 6, б) может образоваться затухающая поперечная стоячая волна с цилиндрическим фронтом $V_{T2,C}$, колебания

которой будут регистрироваться на поверхности торца непосредственно после окончания иницирующего импульса. На рис. 7 показана рефлектограмма буронабивной сваи диаметром 0,85 м. Длина волны колебаний, сопровождающих иницирующий импульс, составляет 1,8–1,9 м, что соответствует полуволновой стоячей поперечной волне в районе оголовка сваи. Колебательный процесс представлен 4–5 колебаниями, которые увеличивают «слепую» зону метода до 5–6 м.

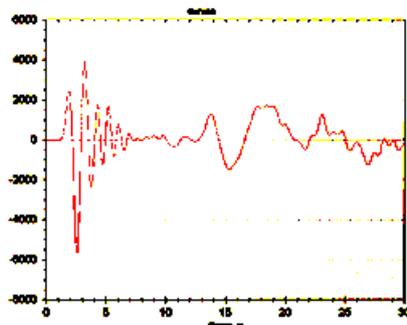


Рис. 7. Рефлектограмма буронабивной сваи диаметром 0,85 м и длиной 12 м

Заключение

С использованием компьютерного моделирования акустических процессов получены расчетные оценки границ влияния армирования при определении времени (скорости) распространения акустического импульса в протяженных армированных бетонных элементах. В частности, на расстояниях, превышающих 0,3 м для диаметра стержня 8 мм, и 0,4–0,6 м – для стержня диаметром 16 мм, учитывать армирование нет необходимости. Полученные результаты важны для методики определения длины и целостности железобетонных свай эхо-импульсным методом. Результаты моделирования указывают на то, что при типовых сечениях свай порядка 0,3x0,3 м и более, длине более 1–2 м и типовом армировании скорость распространения импульса вдоль тела сваи следует определять как «стержневую» скорость продольной волны в бетоне, без учета присутствия арматуры. Арматура проявляет себя только в начальной стадии формирования волнового фронта на расстояниях порядка 0,15–0,5 м от точки возбуждения на торце. Значительно больший эффект на условия прохождения акустического импульса вдоль тела сваи оказывает контакт боковой поверхности сваи и грунта. Если для свободной балки длиной 12 м показатель затухания $B \approx 0$, то для 6-метровой забивной сваи сечением 0,3 x 0,3 м в грунте этот показатель равен 1,152, что в абсолютном представлении соответствует 32-кратному дополнительному усилению сигнала от отметки 6 м по глубине. Для буронабивной сваи диаметром 0,85 м $B = 0,703$, что для сигнала от отметки 21 м по глубине соответствует коэффициенту усиления $k = 1130$ в абсолютных единицах.

При отношении площади сечения продольного армирования к площади сечения сваи в пределах 1/200–1/350 учет влияния армирования при контроле сплошности (определении длины) свай ударно-импульсным методом можно выполнять введением отрицательной поправки в пределах 0,3–0,6 м. Указанная поправка находится в пределах неопределенности оценки длины сваи, поэтому её введение оправданно при контроле свай небольшой длины порядка 4–6 м. При типовых сечениях свай порядка 0,3 x 0,3 м и более, длине более 2–3 м и типовом армировании скорость распространения импульса вдоль тела сваи следует определять как «стержневую» скорость продольной волны в бетоне, без учета армирования.

Вклад авторов в статью: С.Н. Леонович – формулировка цели, задач исследования, общее руководство, окончательная редакция статьи, ее согласование со всеми авторами; Д.Ю. Снежков – планирование и проведение экспериментов, анализ экспериментальных данных, написание статьи; Н.А. Будревич – выполнение экспериментальных исследований, написание статьи. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. М.: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2014. 16 с.
2. Капустин В.В. Методика изучения особенностей распространения акустических волн в бетонных сваях с использованием методов численного моделирования // Вестн. Московского ун-та. Сер. 4. Геология. 2008. № 3. С. 65–70.
3. Капустин В.В. Применение сейсмических и акустических технологий при исследовании состояния подземных строительных конструкций // Технологии сейсморазведки. 2008. № 1. С. 91–98.
4. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н., Лагун Ю.И. О влиянии армирования при ультразвуковом контроле прочности бетона // Строительная наука и техника. 2009. № 3. С. 46–52.
5. Снежков Д.Ю., Леонович С.Н. Мультиволновой ультразвуковой контроль бетона // Наука и техника. 2017. № 4. С. 289–297.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2021. N 3/48

Buildings and Structures

www.dvfu.ru/en/vestnikis

DOI: <https://doi.org/10.24866/2227-6858/2021-3-9>

Leonovich S., Snezhkov D., Budrevich N.

SERGEI LEONOVICH, Doctor of Engineering Sciences, Professor,

Dean of the Civil Engineering Faculty, ResearcherID: D-8864-2018,

ORCID: 0000-0002-4026-820X, ScopusID: 44661420200, leonovichsn@tut.by

DMITRIY SNEZHKOVA, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor (Corresponding Author), ResearcherID: E-5749-2018, ORCID: 0000-0002-1826-7139, snezhkov-d-u@yandex.by

NELLI BUDREVICH, Postgraduate Student, nelli_budrevich@mail.ru

Belorussian National Technical University

Minsk, Belarus

Research of the echo-impulse method of control of drilled pieces

Abstract: The results of field and computational experimental studies of the pulse-echo method are presented. Typical reflectograms of bored piles are presented. The factors that complicate the interpretation of control data are noted. An analysis of the formation of the fronts of an acoustic pulse during its shock excitation is presented. Estimates of the influence of reinforcement on the estimates of the propagation velocity of an acoustic pulse are given.

Keywords: non-destructive testing, pulse echo method, bored piles, pile length, geological profile, wave modeling, reinforcement

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. State standard 17624-2012. Concrete. Ultrasonic method for determining strength. M., 2014, 16 p.
2. Kapustin V.V. Methods for studying the features of the propagation of acoustic waves in concrete piles using numerical modeling methods. Bulletin of Moscow University. Series 4, Geology. 2008(3):65–70.
3. Kapustin V.V. Application of seismic and acoustic technologies in the study of the state of underground building structures. Seismic Technologies. 2008(1):91–98.
4. Snezhkov D.Yu., Leonovich S.N., Lagun Yu.I. On ultrasonic control of concrete strength and effects of reinforcement. Construction Science and Engineering. 2009(3):46–52.
5. Snezhkov D.Yu., Leonovich S.N. Multi-Wave Ultrasonic Control of Concrete. Science and Technology. 2017(4):289–297.