

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА ПРИХОДА ЭХО-ИМПУЛЬСА  
ДЛЯ МЕТОДА ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ.**

Старостин А.Л., Асочаков А.С.

Научный руководитель: Шульгина Ю.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: s-tar\_94@mail.ru

*Аннотация: В статье приводится математическое моделирование определения временной координаты момента прихода эхо-импульса для двухчастотного метода зондирования, а так же описание существующих ошибок. Произведено описание соответствующих математических операций. Приведен график зависимости ошибки измерения от порога срабатывания компаратора для первых десяти периодов, средняя ошибка примерно равна 1/6 периода.*

**DETERMINING THE ECHO ARRIVAL TIME USING  
THE DUAL-FREQUENCY SENSING METHOD**

Starostin A.L., Asochakov A.S.

Scientific Supervisor: Shulgina Yu.V.

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: s-tar\_94@mail.ru

*Abstract: The article presents determining mathematical modeling of the echo pulse arrival using dual-frequency sensing method for and description of the measurement errors. Description of the mathematical operations is produced. Graph of measurement error from the threshold comparator for the first ten periods is shows. The average error is approximately equal to 1/6 of the period*

Оптимизация расходов является одной из важнейших статей повышения эффективности фондоемкого производства. Примером такого производства является горнодобывающая промышленность. При добыче полезных ископаемых, например железной руды, угля и др., необходимо производить взрывные работы, ведущие за собой значительные расходы. Для получения максимального результата от взрывных работ, необходимо соблюдать все расчетные требования, например объем взрывчатого вещества или глубину его закладки. [1]

Для снижения трудоемкости расчетных работ необходимо применять не погружные способы измерения глубины залегания скважины. Акустические приборы для измерения геометрических размеров получили широкое распространение, но имеют ограниченное использование в горнодобывающей отрасли. При распространении сигнала, вследствие неравенства фазовых скоростей различных мод, а также вследствие затухания сигнала, происходит изменение формы огибающей переднего фронта сигнала.

Для повышения точности измерения используются новые способы прозвучивания и обработки акустических сигналов[2], одним из которых является способ двухчастотного зондирования. Волновод зондируется двумя сигналами с разной частотой, а затем фиксируются временные координаты для каждого сигнала по моменту срабатывания компаратора (точки  $t_1$  и  $t_2$  рис. 1.).

После измерения временных интервалов между излученными и принятыми сигналами производится временная коррекция, согласно выражению:  $(\Delta t_1 - i \cdot T_1) - (\Delta t_2 - i \cdot T_2) = \min$ , [3]

где  $T_1$  – период колебаний первой ультразвуковой волны,  $T_2$  – период колебаний второй ультразвуковой волны,  $i$  – номер коррекции,  $\Delta t_1$  – первый измеренный временной интервал,  $\Delta t_2$  – второй измеренный временной интервал, полученное значение временного интервала  $(\Delta t_1 - i \cdot T_1)$  используют при определении расстояния до отражающей поверхности.

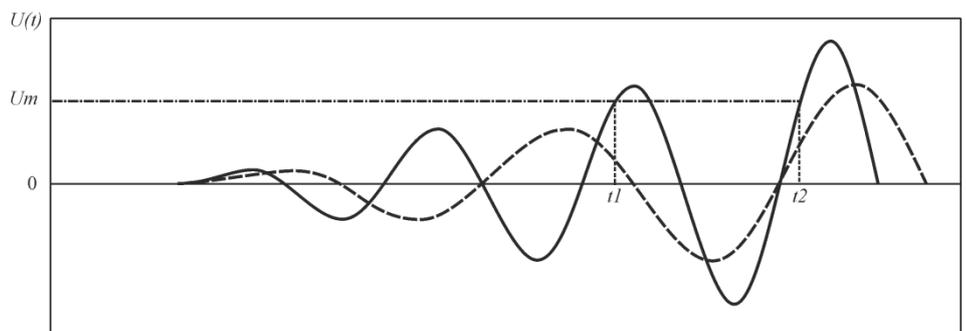


Рис.1. Принцип фиксации временных промежутков  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  компаратором для двухчастотного метода.

При проведении коррекции из всех вычислений выбирается итерация, при которой достигается минимальное отрицательное значение между  $(\Delta t_1 - i \cdot T_1)$  и  $(\Delta t_2 - i \cdot T_2)$ . Затем происходит перемещение временной координаты, определяемой моментом срабатывания компаратора, по оси времени, путем вычитания из него интервала времени кратного периоду большей частоты. Множитель для временного сдвига определяется номером периода, в который произошло срабатывание компаратора.

Так как эхо-сигнал имеет сложную форму, и при расчете расстояния используются только положительные пороги срабатывания компараторов, можно аппроксимировать эти положительные полупериоды функцией:  $U_m \cdot \sin t$ , где  $U_m$  – максимальная амплитуда аппроксимируемой полуволны.

После преобразований функция принимает следующий вид:

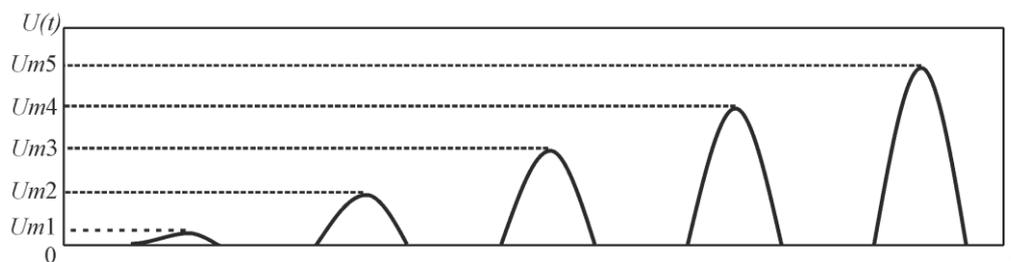


Рис.2. Функция, аппроксимирующая сложный эхо-импульс.

Используемое приближение порождает ошибку аппроксимации (Рис. 4.). Максимальное значение этой ошибки приходится на момент времени, соответствующий экстремуму полуволны, причем значение ошибки уменьшается с увеличением периода. Необходимо учитывать ошибку аппроксимации при определении результирующего расстояния.

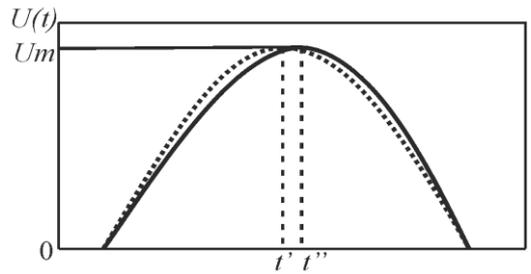


Рис.4. Иллюстрация ошибки аппроксимации.

Определить временную координату, соответствующую моменту срабатывания компаратора, можно воспользовавшись обратной функцией  $t(R) = \arcsin(R/U_m)$ , где  $R$  – порог срабатывания компаратора,  $U_m$  – максимальная амплитуда аппроксимируемой полуволны.

Так как момент прихода импульса определяется формулой  $\Delta t_1 - i \cdot T_1$ , то максимальная ошибка будет равняться четверти периода, причем с увеличением номера периода диапазон ошибки будет сокращаться в сторону максимальной (Рис. 4.).

На рисунке 4 приводится график зависимости ошибки измерения от порога срабатывания компаратора для первых десяти периодов, где  $T/6$  – средняя ошибка,  $T/4$  – максимальная ошибка.

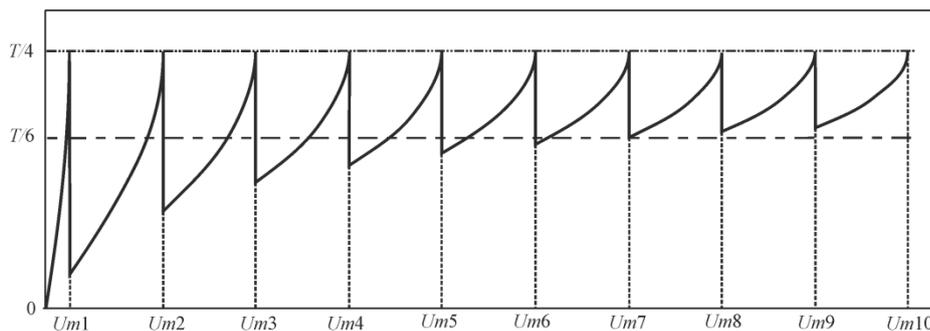


Рис.4. График зависимости ошибки определения момента прихода эхо-импульса от порога срабатывания компаратора

Для повышения точности измерений двухчастотного метода необходимо ввести поправочный коэффициент, определяемый номером периода, в который произошло срабатывание компаратора с учетом ошибки аппроксимации. Итоговая формула для определения момента прихода эхо-импульса примет вид:  $(\Delta t_1 - i \cdot T_1) - \delta_{мет.ср.i} - \delta_{апр.ср.i}$ , где  $\delta_{мет.ср.i}$  – средняя ошибка метода для  $i$ -го периода,  $\delta_{апр.ср.i}$  – средняя ошибка аппроксимации для  $i$ -го периода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В.(Шульгина) Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера //Известия Томского политехнического университета, 2009. -т. 315 -№ 4 -с. 85-89
2. Солдатов А.И., Шульгина Ю.В. Повышение точности ультразвуковых измерений методом двух компараторов //Известия Южного федерального университета. Технические науки, 2010. -т. 110 -№ 9 -с. 102-107
3. Определение временного положения эхоимпульса методом двухчастотного зондирования / Ю.В. Шульгина [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2014. - №13. – с. 152-154.