

Исследования проводились с использованием обеззараживателя стационарного типа, потребляемая мощность порядка 150 Вт; удельная мощность ультразвукового излучения 0,8 Вт/см². Излучатель площадью 38 см² выполнен на основе пьезокерамики ЦТС-19. Исследовалось молоко объемом 150 см³ и жирностью порядка 5 %.

В эксперименте исследовалась исходная проба, 4 пробы молока при различном времени воздействия ультразвуком, а также проба с остатков на колбе. Результаты исследований представлены в таблице.

Исследования показали, что при воздействии на молоко ультразвуковым излучением происходит заметное уменьшение общего числа бактерий. Результаты исследований отражены в протоколе № 2567 от 27.10.2008.

Предложенный вариант схемы ультразвукового обеззараживателя молока проточного типа позволяет осуществлять автоматическую подстройку ча-

стоты резонанса, тем самым повышая эффективность обеззараживания.

Таблица. Количество общего микробного числа в молоке при воздействии на него мощным ультразвуковым излучением

Материал (смывы пробы)	Общее микробное число, КОЕ
Молоко до обработки	2500
После 5 мин. обработки	1800
После 10 мин. обработки	1000
После 15 мин. обработки	100
После 25 мин. обработки	90
Колба (остатки молока)	≥3000

В дальнейшем планируется проведение исследований качественных показателей молока при воздействии на него ультразвуковым излучением и определение пропускной способности устройства в проточном режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Montville T.J., Matthews K.R. Food microbiology an introduction // American Society for Microbiology Press. – 2005. – V. 17. – № 5. – P. 30–35.
2. Schmid R. The Untold Story of Milk // New Trends Publishing. 2003. URL: <http://www.newtrendspublishing.com/USOMilk> (дата обращения: 15.08.2010).
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высшая школа, 1982. – 496 с.

Поступила 02.09.2010 г.

УДК 534.6.08

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ МЕДЛЕННО НАРАСТАЮЩЕГО ЭХО-ИМПУЛЬСА

Н.В. Дичев, А.И. Солдатов, В.С. Макаров, П.В. Сорокин, И.И. Фикс

Томский политехнический университет
E-mail: werdan@sibmail.com

Рассматривается метод определения временного положения эхо-импульса с медленно нарастающим фронтом путём выделения огибающей. Предложены основные расчетные выражения для его использования. В качестве примера использован реальный эхо-сигнал с построенными данным методом огибающими. Произведено сравнение данного метода с традиционно используемыми, сделаны выводы.

Ключевые слова:

Компаратор, огибающая, погрешность измерения, эхо-сигнал, метод наименьших квадратов.

Key words:

Comparator, envelope, measurement accuracy, echo-signal, least-squares method.

Акустические измерительные приборы широко применяются для измерений глубин скважин в горнодобывающей промышленности, измерений расстояний, измерений уровней жидких и сыпучих веществ в резервуарах, контроля различных материалов в дефектоскопии [1].

Традиционно, определение момента прихода эхо-сигнала производится компаратором, который вырабатывает нормированный прямоуголь-

ный импульс, когда амплитуда сигнала на его входе превышает установленный порог [2]. Это метод одного компаратора. Если огибающая эхо-сигнала близка по форме к прямоугольной, то ошибка будет минимальной. Если огибающая представляет собой медленно меняющуюся функцию времени, то момент начала эхо-сигнала и момент, определенный компаратором, существенно различаются. Возникает систематическая ошибка, которая

в условиях изменения амплитуды становится стохастической.

В работе [3, 4] предложен способ повышения точности измерения путем аппроксимации огибающей сигнала. Для этой цели применяется аналого-цифровое преобразование с последующим вычислением полинома второй степени методом наименьших квадратов [5].

Нами предлагается метод, который позволяет исключить применение аналого-цифрового преобразователя, оставив в аппаратной части только один компаратор. Новый метод обработки предусматривает построение огибающей пришедшего эхо-сигнала путем использования длительностей сигналов на выходе компаратора. Информация об амплитудах положительных полупериодов эхо-сигнала содержится в длительностях импульсов на выходе компаратора.

На рис. 1 показаны нарастающая часть эхо-сигнала, сигнал на выходе компаратора, а также ошибки определения временного положения эхо-сигнала методом одного компаратора. Величина $U_{\text{пор}}$ показывает уровень срабатывания компаратора. Моменты времени $t_1 \dots t_4$ обозначают начало соответствующего выходного импульса компаратора, а моменты времени $t_{m1} \dots t_{m4}$ отмечают положение экстремума данного полупериода синусоиды. Значения $\Delta t_1 \dots \Delta t_4$ представляют длительности выходных импульсов, а Δ – систематическую ошибку при использовании метода одного компаратора.

Из диаграммы очевидно, что при увеличении амплитуды эхо-сигнала, длительности сигналов на выходе компаратора возрастают. Используя эти длительности можно получить значения амплитуд положительных полупериодов. Будем полагать, что в течение одного периода данный эхо-сигнал является синусоидальным.

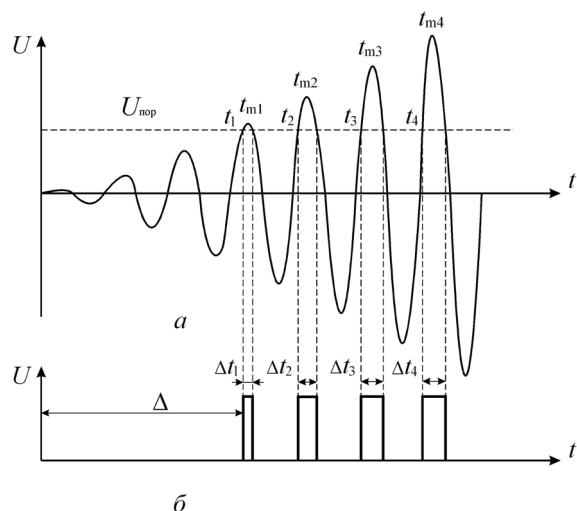


Рис. 1. Диаграмма начала эхо-сигнала (а) и импульсы на выходе компаратора (б)

Известно выражение [5], описывающее аналитическую связь между частью периода синусоиды и её амплитудой

$$U_{\text{max}} = \frac{U_{\text{пор}}}{\sin \varphi},$$

где $U_{\text{пор}}$ – порог срабатывания компаратора; φ определяется как

$$\varphi = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{T} \Delta t.$$

Отсюда

$$U_{\text{max}i} = \frac{U_{\text{пор}}}{\cos\left(\pi \frac{\Delta t_i}{T}\right)},$$

где Δt_i – длительность импульса на выходе компаратора; T – период сигнала; $U_{\text{max}i}$ – амплитуда положительного полупериода синусоиды.

Определение моментов времени положительных экстремумов относительно начала эхо-сигнала основано на свойстве симметрии выходных импульсов компаратора. Данная задача решается фиксированием времени срабатывания компаратора t_i и добавления половины длительности соответствующего импульса на выходе компаратора.

Аналитическое выражение для определения времени положительных экстремумов имеет вид:

$$t_{mi} = t_i + \frac{\Delta t_i}{2}.$$

Период сигнала будет определяться как отрезок между максимумами.

Расчёт аппроксимирующего полинома производится методом наименьших квадратов при использовании полученных пар данных $U_{\text{max}i}$ и t_{mi} в качестве исходных значений. Для получения полинома второй степени необходимо использовать параметры, как минимум, трёх точек.

Для проверки эффективности данного метода были использованы реальные сигналы, полученные на экспериментальной установке в лаборатории ультразвуковой техники кафедры промышленной и медицинской электроники Томского политехнического университета [4].

Расчетным путем установлено, что за счет формы принятого эхо-сигнала огибающая, построенная данным методом, не всегда имеет пересечение с нулем. На рис. 2 показана осциллограмма эхо-сигнала, на которую наложены рассчитанные кривые огибающих, полученные при различных уровнях срабатывания компаратора. Можно видеть, что первая огибающая, построенная при уровне порога срабатывания компаратора, равном 20 % от максимальной амплитуды сигнала, не пересекает нулевую ось, а огибающие, построенные при уровнях 50 и 60 %, имеют точку пересечения с нулем, которая определяет момент прихода отражённого сигнала. Исследования показали, что условие пересечения огибающей нулевой линии выполняется, если пороговый уровень установлен в пределах 50 % от максимальной амплитуды принятого сигнала. В случае повышения порогового уровня погрешность измерения также увеличивается, а при

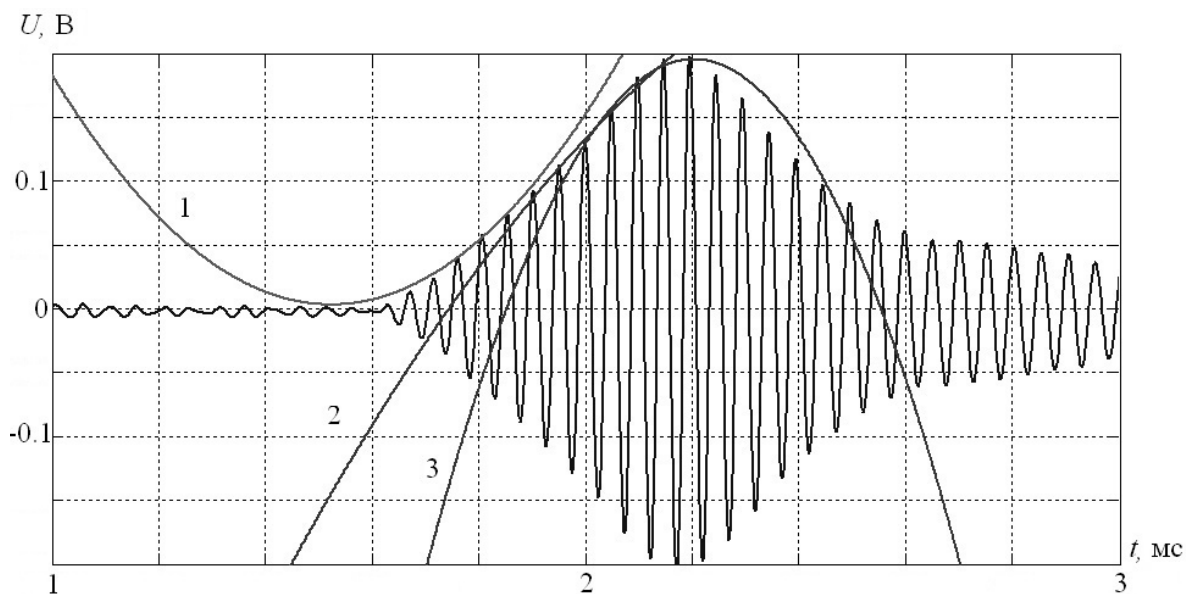


Рис. 2. Осциллограмма реального эхо-сигнала с огибающими, построенными на уровнях 20 (1), 50 (2) и 60 % (3) от максимальной амплитуды сигнала

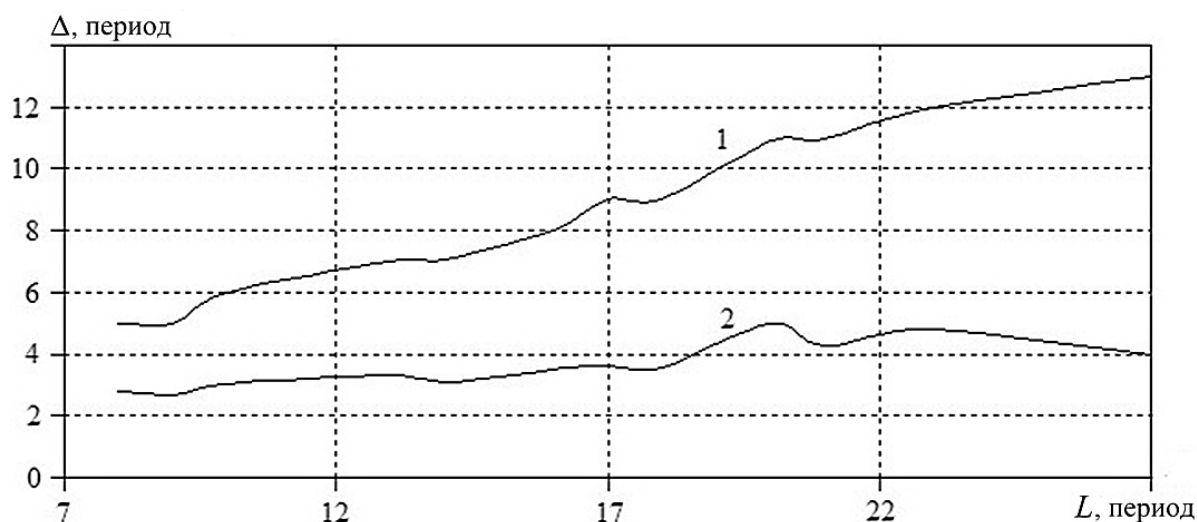


Рис. 3. График зависимости погрешности определения временного положения эхо-импульса от длительности фронта сигнала при использовании метода: 1) одного компаратора; 2) огибающей

понижении есть вероятность, что огибающая не пересечет нулевую ось.

Проведен анализ зависимости погрешности определения временного положения эхо-сигнала от длительности нарастающего фронта огибающей импульса. Анализ проводился численным методом в среде MatLab. Результаты представлены на рис. 3. Для сравнения на этом же графике показаны результаты расчёта погрешности для традиционного метода одного компаратора. В качестве огибающей эхо-сигнала использовалась кривая Гаусса.

Длительность фронта и абсолютная систематическая погрешность определения временного положения эхо-импульса измерялась в единицах периода несущей частоты. Такое представление обладает общностью и позволяет экстраполировать ре-

зультаты исследований при изменении диапазона частот зондирования.

На рис. 3 видно, что при изменении длительности фронта принятого сигнала в пределах от 8 до 27 периодов несущей частоты ошибка измерения предложенным методом не превышает 5 периодов и слабо зависит от данного параметра. Для метода одного компаратора ошибка возрастает пропорционально увеличению длительности фронта сигнала и достигает значения 13 периодов.

Теоретические значения погрешностей удовлетворительно совпадают с экспериментальными данными при одинаковых длинах фронтов импульса. Это подтверждает правильность выбора формы огибающей сигналов, достоверность полученных результатов и их практическую ценность.

Выводы

1. Предложен метод определения временного положения акустического эхо-импульса с медленно нарастающим фронтом путём выделения огибающей. Получены основные расчетные выражения для его использования.
2. Экспериментально показано, что абсолютная систематическая погрешность при использова-

нии метода снижается более чем в 2 раза в зависимости от длительности переднего фронта эхо-импульса.

3. Метод может быть использован в современных акустических измерительных устройствах без существенных изменений их аппаратной части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий: Справочник. В 2 т. Т. 2 / под ред. В.В. Клюева. – М.: Машиностроение, 1976. – 326 с.
2. Горбатов А.А., Рудашевский Г.Е. Акустические методы измерения расстояний и управления. – М.: Энергоиздат, 1981. – 208 с.
3. Солдатов А.И., Чиглинцева Ю.В. Теоретическое и экспериментальное исследование акустического тракта скважинного глубиномера // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 315. – № 4. – С. 85–89.

4. Солдатов А.И., Сорокин П.В., Макаров В.С. Определение временного положения акустического импульса методом аппроксимации огибающей сигнала // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2009. – № 10. – С. 178–184.
5. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. – М.: Наука, 1965. – 780 с.

Поступила 03.06.2010 г.

УДК 535;621.373.826;544.454

ЛАЗЕРНОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ ПОРОШКОВ ТЭНА В УСЛОВИЯХ ОБЪЕМНОГО СЖАТИЯ

В.П. Ципилев, Е.Ю. Морозова, А.С. Скрипин

Томский политехнический университет
E-mail: tsipilev@tpu.ru

Определены энергетические пороги инициирования и исследована кинетика процесса взрывного разложения порошков тетранитрата пентаэритрита, объемносжатых до давления $5 \cdot 10^8 \text{ Н/м}^2$, при воздействии импульсом лазерного излучения на длинах волн 1064 нм (область прозрачности) и 266 нм (область собственного поглощения). Реализованы условия низкого порога инициирования для порошков чистого тэна первой, второй и четвертой гармониках излучения неодимового лазера.

Ключевые слова:

Взрывчатые вещества, лазерное инициирование, энергетические пороги, механизмы инициирования.

Key words:

Explosive materials, laser initiation, energy thresholds, explosion initiation mechanisms

Введение

Попытки инициировать прессованные порошки тетранитрата пентаэритрита (тэна) с открытой поверхности образца импульсами лазерного излучения, соответствующими области прозрачности матрицы, с интенсивностью ниже порога образования мощных ударных волн были безуспешны [1]. Причиной этого с точки зрения [2] является возникновение в приповерхностном рассеивающем слое высоких температурных градиентов, приводящих к быстрой газодинамической разгрузке очага разложения. Для реализации процесса зажигания коротким импульсом (наносекундная область длительностей) используют защитные стекла [2–5]. Согласно [2] их роль должна состоять в том, что наличие стекла затрудняет газоотвод из начального очага разложения, увеличивает давление над поверхностью взрывчатого вещества (ВВ), приводит к росту скорости горения. При дости-

жении давления, большего некоторой критической величины $p_{кр}$, возможен переход в режим конвективного горения с последующим взрывным разложением. Чем выше усилие прижатия стекла к поверхности ВВ, тем меньше пористость и газопроницаемость, тем быстрее достигается $p_{кр}$, тем выше чувствительность ВВ, что и наблюдалось экспериментально в [3].

В [2] показано, что введение поглощающих примесей (наночастицы сажи с характерным размером $\sim 100 \text{ нм}$) повышает концентрацию поглощенной в объеме тэна световой энергии, способствует созданию критического давления при меньших световых потоках. Этот вывод подтвержден в работе [6] при облучении поверхности прессованных порошков тэна, закрытой тонкой (1 мм) стеклянной пластиной (без давления прижатия). В работе с помощью акустического датчика измерялся импульс давления, возникающий в области