

бильными при изменении длительности выборки, чем в случае применения метода ОПФ.

На основе полученных результатов можно сделать вывод о предпочтительности АМ перед методом ОПФ для анализа спектров пятиминутных последовательностей длин кардиоциклов.

#### Список использованных источников

- 1) Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З., Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. Наука, 1984, 221 с.
- 2) Вариабельность сердечного ритма в современной клинике, под ред Н.И. Яблчанского, Б.Я. Кантора, А.В. Мартыненко, Харьков, 2001.
- 3) Жемайтис Д.И. Ритмограмма как отражение особенностей регуляции сердечного ритма. В кн.: Ритм сердца в норме и патологии. Вильнюс, 1970, 99 - 111.
- 4) Колебания частоты сердцебиений: спектральный анализ, В.М. Хаютин, Е.В. Лукошкова, Российский кардиологический научно-производственный комплекс МЗ РФ, г. Москва.
- 5) Кузенков В.Д. Цифровые методы спектрального анализа, Куйбышевский авиационный институт, 1990, 167с.
- 6) Марпл С.Л. Цифровой спектральный анализ и его применение, М.: Радио и связь, 1990, 578с.
- 7) Сверхблизкие интегральные схемы и современная обработка сигналов, под ред. С. Гуна, М.: Радио и связь, 1989, 456с.

УДК 631.053

## АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Некрасова Т.А., Астапов В.Н.

Качество нефтепродуктов в настоящее время является ключевой проблемой в нефтеперерабатывающей промышленности.

Исследования, проведенные в [1], показывают, что информацию о качественных характеристиках нефтепродуктов несут в себе такие физические параметры, как скорость звука и коэффициент поглощения. Данные параметры могут быть измерены электрическими методами.

Так амплитуда плоских звуковых волн проходящих через контролируемую среду уменьшается вследствие поглощения в среде по закону

$$I_x = I_0 e^{-2\alpha x}, \quad (1)$$

где  $I_0$  – интенсивность (амплитуда) входящих в среду волн;

$I_x$  – их интенсивность после прохождения пути  $x$ ;

$\alpha$  - коэффициент поглощения звука (по амплитуде).

$\alpha$  Учитывая поглощение акустической энергии, вызываемое вязкостью среды, найдем [2]

$$\alpha_1 = \frac{8\pi^2\eta}{3\lambda^2\rho a}, \quad (2)$$

где  $\alpha_1$  – поглощение акустической энергии, вызываемое вязкостью среды;

$\eta$  – коэффициент вязкости (динамическая вязкость);

$\lambda$  – длина волны  $\rho$  ;

$\rho$  – плотность жидкости;

$a$  – скорость ультразвука.

Потери акустической энергии, вызываемые теплопроводностью, учитываются коэффициентом  $\alpha_2$ , равным

$$\alpha_2 = \frac{2\pi^2}{\lambda^2\rho a} \frac{K}{C_p} \left( \frac{C_p}{C_v} - 1 \right), \quad (3)$$

где  $K$  – коэффициент теплопроводности;

$\frac{C_p}{C_v}$  – отношение теплоемкости при постоянном давлении, к тепло-

емкости при постоянном объеме.

Общий коэффициент поглощения  $\alpha$  будет равен

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2. \quad (4)$$

Таким образом, поглощение звука в жидкости обусловлено потерями акустической энергии, вызванными вязкостью и теплопроводностью среды, в которой распространяется звук.

Релаксационные явления, связанные с изменением ближнего порядка в расположении молекул можно учесть, введя в уравнение (3) объемный коэффициент вязкости  $\eta'$

$$\alpha = \frac{2\pi^2}{\lambda^2\rho a} \left\{ \frac{4}{3}\eta + \eta' + \left( \frac{C_p}{C_v} - 1 \right) \frac{K}{C_p} \right\}, \quad (5)$$

Учитывая, что для нефтепродуктов  $C_p = C_v$ , тогда (5) примет вид

$$\alpha = \frac{2\pi^2}{\lambda^2\rho a} \left\{ \frac{4}{3}\eta + \eta' \right\}. \quad (6)$$

При гидродинамическом рассмотрении вопроса о распространении звуков в (5) появляются два коэффициента вязкости,  $\eta$  – коэффициент динамической вязкости и  $\eta'$  – коэффициент объемной вязкости.

Отметим, что для многих случаев можно положить  $\eta' = 0$  и тогда остаются обычные акустические уравнения.

Формула (6) иллюстрирует, что поглощение звука в среде вызвано вязкостью среды и возрастает с ее увеличением. Таким образом, определив параметры  $(\alpha, \rho, a)$ , можно определить  $\eta$ .

Наиболее трудоемкая задача, определение коэффициента поглощения  $\alpha$ .

Углеводородные топлива аттестуются по кинематической вязкости, которая зависит от температуры в соответствии с соотношением [3]:

$$\lg \lg(\eta_k + 0,8) = C_\eta - b_\eta \lg(\theta + 273,2), \quad (7)$$

где  $\eta_k$  - кинематическая вязкость в сантистоксах, связанная с динамической вязкостью  $\eta$  соотношением  $\eta_k = \frac{\eta}{\rho}$ .

Здесь  $C_\eta, b_\eta$  - постоянные величины для данных углеводородных смесей. Для различных углеводородов значения данных коэффициентов можно найти в [3], или определяют экспериментально при двух различных температурах.

Приведенные данные позволяют разработать импульсный акустический вискозиметр для жидких нефтепродуктов.

Схема вискозиметра по этому методу представлена на рис. 1.

Приемный и передающий зонды - это пьезопреобразователи электрического импульса в акустический сигнал и акустического сигнала в электрический.

Формирователь зондирующих импульсов формирует электрические импульсы длительностью  $T/2$ , (где  $T$  период резонансной частоты пьезопреобразователей), с частотой 4 кГц. Электрические импульсы поступают на передающий зонд ЗПрд, где преобразуются в импульс акустического сигнала. В результате этого в жидкости распространяется ультразвуковая волна. Волна, теряя часть энергии на поглощение в среде, достигает приемного зонда ЗПрм, который преобразует акустический сигнал в электрический. Считая, что амплитуда переменного напряжения, возникающего на приемном пьезопреобразователе под действием переменного давления ультразвукового импульса, пропорциональна амплитуде этого давления и что эта зависимость не искажается при усилении, можно определить коэффициент поглощения  $\alpha$  [2] по уравнению (8).

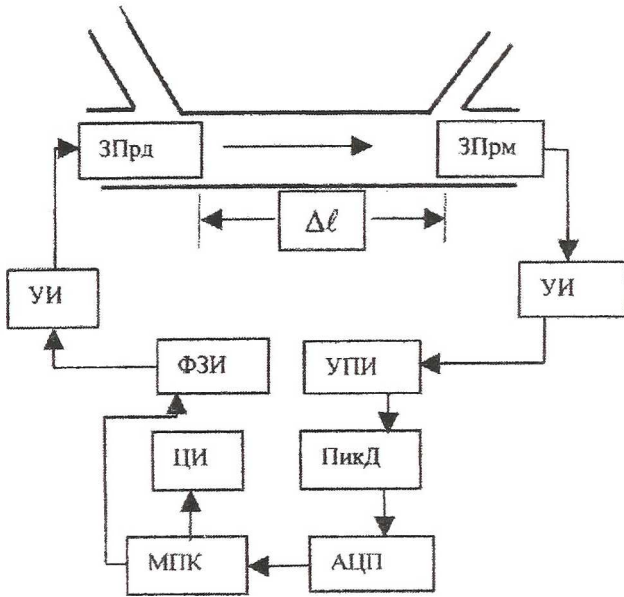
При этом расхождение пучка ультразвука должно быть минимальным и им пренебрегаем.

$$\alpha' = \frac{\Delta A}{\Delta / 20 \lg e}, \quad (8)$$

где  $\Delta A$  - изменение амплитуды (поглощение сигнала) в дБ.

$\Delta l$  - расстояние между зеркалами передатчика и приемника ультразвука, [см].

$\alpha'$  - приведенный коэффициент поглощения, единица измерения, [см<sup>-1</sup>].



УИ – устройство искробезопасное (барьер искробезопасности); ФЗИ – формирователь зондирующих импульсов; УПИ – усилитель приемных сигналов; ПИК-Д – пиковый детектор; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; МПК – микропроцессорный контроллер; ЦИ – цифровой индикатор; ЗПрд – зонд передатчик ультразвукового импульса; ЗПрм – зонд приемник ультразвукового импульса;  $\Delta l$  – длина прохождения акустического сигнала в жидкости.

Рисунок 1 Функциональная схема акустического вискозиметра

Значение  $\Delta A$  определяем методом отношения напряжений /4/ по формуле (9)

$$\Delta A = 20 \lg \frac{U_{срПрм}}{U_{0Прм}}, \quad (9)$$

где  $U_{0Прм}$  – амплитуда напряжения возникающая на приемном зонде ЗПрм, без поглощения (для этого передающий и приемный зонды соединяют встык, т.е.  $\Delta l = 0$ ), ее значение заносится в энергонезависимую па-

мать микроконтроллера МПК, где она хранится, как постоянная константа для данного вискозиметра.

$U_{\text{срПрм}}$  – амплитуда напряжения возникающая на приемном зонде ЗПрм при прохождении акустического сигнала через среду, т.е. через нефтепродукт.

Коэффициент поглощения акустического сигнала

$\alpha = \kappa \alpha'$ , где  $\kappa$  – коэффициент соответствия поглощения акустического сигнала приведенному, рассчитанному по формуле (8) и определяется с помощью калибровки по эталонным жидкостям.

Из (2) определим динамическую вязкость  $\eta$

$$\eta = \frac{3\lambda^2 \rho a \alpha}{8\pi^2}; \quad (10)$$

и поделив значение  $\eta$  на величину плотности нефтепродукта  $\rho$ , получим кинематическую вязкость

$$\eta_{\kappa} = \frac{3\lambda^2 a \alpha}{8\pi^2}. \quad (11)$$

Единица измерения кинематической вязкости в сантиСтоксах [сСт]. Так как коэффициент поглощения зависит от температуры, то необходимо при его определении вводить поправочный коэффициент, который для нефтепродуктов определяется опытным путем.

Результаты проведенных в статье исследований позволяют создать электронно-акустический вискозиметр, предназначенный для измерения вязкости нефтепродуктов, акустическим импульсным методом.

#### Список использованных источников

14. Скворцов Б.В. Колюхов Н.Е. Астапов В.Н. Приборы и системы контроля качества углеводородных топлив. М., Энергоатомиздат, 2000. 366 с.
15. Кудрявцев Б.Б. Применение ультразвуковых методов в практике физико-химических исследований. Гос. издательство технико-теоретической литературы. М., Л., 1952. 323с.
16. Чертков Я.Б. Современные и перспективные углеводородные реактивные и дизельные топлива. М., Химия, 1968. 356с.
17. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения. Л., Энергоатомиздат, 1983. С.292-295.

## ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ТОВАРНЫХ НЕФТЕПРОДУКТОВ В СОВРЕМЕННОЙ РОССИИ

Колюхов Н.Е., Плешивцев В.В.

Товарные нефтепродукты, произведенные на НПЗ, в процессе хранения и транспортировки непрерывно ухудшают качественные характеристики, отраженные в паспорте качества. Изменение качества нефтепро-