

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ



**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

*Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”*

№ 2(27) '2014

Донецьк
2014

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАУКОВІ ПРАЦІ
ДОНЕЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО
ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

***Серія: “Обчислювальна техніка
та автоматизація”***

Всеукраїнський науковий збірник

Заснований у липні 1998 року

Виходить 2 рази на рік

№ 2(27) ’2014

Донецьк
2014

Друкується за рішенням Вченої ради державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет» (протокол № 6 від 20.06.2014).

У збірнику опубліковано статті науковців, аспірантів, магістрів та інженерів провідних підприємств і вищих навчальних закладів України, в яких наведено результати наукових досліджень та розробок, виконаних у 2013-2014 роках згідно напрямків: автоматизація технологічних процесів, комп'ютерні інформаційні технології, інформаційно-вимірювальні системи, електронні і мікропроцесорні прилади.

Матеріали збірника призначено для викладачів, наукових співробітників, інженерно-технічних робітників, аспірантів та студентів, що займаються питаннями розробки і використання автоматичних, комп'ютерних і електронних систем.

Засновник та видавець – Донецький національний технічний університет.

Редакційна колегія: О.А. Мінаєв, чл-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф., головний редактор; Є.О. Башков, д-р техн. наук, проф., заступник головного редактора; Є.Б. Ковальов, д-р техн. наук, проф., відп. секретар випуску; Ахім Кінлє д-р техн. наук, проф.; Іван Тауфер д-р техн. наук, проф.; А.А. Зорі, д-р техн. наук, проф.; О.Г. Воронцов, д-р техн. наук, проф.; Ю.О. Скобцов, д-р техн. наук, проф.; Н.І. Чичикало, д-р техн. наук, проф.; М.М. Заблудський, д-р техн. наук, проф.; В.В. Турупалов, канд. техн. наук, проф.; К.М. Маренич, канд. техн. наук, проф.; О.В. Хорхордін, канд. техн. наук, доц.; М.Г. Хламов, канд. техн. наук, доц.; Б.В. Гавриленко, канд. техн. наук, доц.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія KB № 7376 від 03.06.2003.

Збірник включено до переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук (затверджено постановою президії ВАК України № 1-05/5 від 01. 07. 2010 р., надруковано в бюлетені ВАК №7, 2010).

Збірник включено до бібліографічної бази даних наукових публікацій Російський індекс наукового цитування (РІНЦ) (http://elibrary.ru/title_about.asp?id=38108)

ЗМІСТ

	Стор.
Розділ 1 Автоматизація технологічних процесів	5
Мироненко Л.П. Два новых метода доказательства фундаментальных пределов в математическом анализе	6
Руссиян С.А. Оцінка ефективності замикання пошкодженої фази мережі на землю як засобу підвищення електробезпеки дільничої мережі шахти напругою 3 (3,3) кВ	11
Скоробогатова И.В., Бирюков А.Б., Гавриленко Б.В., Неежмаков С.В., Гнителиев П.А. Экспериментальное исследование энергосберегающих режимов в камерной печи	19
Ставицький В.М. Математична модель розгалуженої конвеєрної лінії	27
Федюн Р.В., Пихно Э.В. Математическая модель полета конвертоплана	36
Федюн Р.В., Табаленкова Т.В., Попов В.А. Автоматизация процесса химической очистки воды ТЭС	45
Ченгарь О.В. Метод Парето-оптимизации производственного расписания на основе «направленного» муравьиного алгоритма	54
Чернышев Н.Н., Волуева О.С. Компенсация застатания канала дозирования жидкого металла в системе управления уровнем металла в кристаллизаторе МНЛЗ	62
Розділ 2 Інформаційні технології та телекомунікації	70
Климаш М.М., Красько О.В., Максимюк Т.А. Метод спектрально-часового мультиплексування інформаційних потоків в оптичних мережах доступу	71
Сахаров В.И., Сахарова С.В. Экономичный Ethernet доступ на микроконтроллере	80
Світлична В.А., Землянська С.Ю., Гавенко С.С. Метод розподілу обслуговуючих робіт при виконанні замовлень	85
Серов Ю.О., Матієшин Л.М. Проблеми функціонування веб-сайтів міських рад невеликих міст України	94
Скрупський С.Ю., Доля А.С. Фрактальне ущільнення відеоінформації у розподілених комп'ютерних системах	101
Стрихалюк Б.М., Шпур О.М., Селюченко М.О. Визначення доступності програмних комплексів з сервісно-орієнтованою архітектурою	109
Ткаченко Н.О., Воропаєва В.Я. Алгоритм роботи інформаційно-пошукової системи зі зворотним зв'язком	120
Федоров Е.Е. Метод синтеза вокальных звуков речи по эталонным образцам на основе саундлетов	127
Червінська Н.В., Клімов І.О., Ігнатенко Є.Г. Аналіз дослідження протоколів маршрутизації для бездротових AD-HOC мереж	138
Шаховська Н.Б., Болюбаш Ю.Я., Верес О.М. Організація великих даних у розподіленому середовищі	147
Шрамко Н.А., Молоковський И.А., Турупалов В.В. Исследование влияния помех при распространении радиоволн в условиях ограниченного пространства	156

Щербов І.Л., Воропаєва В.Я., Вашакідзе Г.А. Алгоритм прийняття ризику з метою забезпечення безпеки ТКС	164
Розділ 3 Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади	174
Куценко В.П. Оцінка комплексних узагальнених величин спрямованого хвильовідного відгалужувача з використанням нечіткої логіки	175
Лактионов И.С., Вовна А.В. Способ уменьшения дополнительной погрешности измерителя влажности почвы оранжерей ботанического сада	183
Поздняков Е.К. Исследование входных параметров метода определения дальности в многопозиционных пассивных системах при помощи функций чувствительности	192
Соломічев Р.І. Дослідження двопроменевого оптико-абсорбційного вимірювача концентрації дисперсності пилу в умовах вугільних шахт	200
Соломичева С.В. Обоснование выбора пьезоэлектрического преобразователя измерительного канала контроля уровня жидкости в барабане котла	209
Цололо С.О. Оптимізація схеми автомата мура в базисі FPGA	220

Розділ 3

Інформаційно-вимірювальні системи, електронні та мікропроцесорні прилади

УДК 53.087.92:621.3.084.2

С.В. Соломичева (аспирант)ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк
кафедра электронной техники
e-mail: svetikkrasota@mail.ru**ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ
В БАРАБАНЕ КОТЛА**

Исследована схема замещения прямого совмещенного пьезопреобразователя, учитывающая его пьезоэлектрические свойства. Поставлены требования к параметрам преобразователя, которые позволят получить максимальную чувствительность измерения. Предложена математическая модель передаточной функции на основе коэффициента двойного преобразования, позволяющая учесть коэффициент промежуточного ослабления ультразвука в результате затухания и расхождения лучей в среде прохождения, а также свойства пьезоматериала и его согласование с контактирующими средами. Поставлены требования к аналоговому блоку измерительного канала контроля уровня в барабане котла.
Ключевые слова: пьезопреобразователь, добротность, акустический импеданс, интенсивность, чувствительность.

Постановка проблемы

Для обеспечения высокой надежности и технологической безопасности работы котлоагрегатов тепловых электростанций необходимо обеспечить оперативный контроль уровня жидкости в барабане котла. Существующие способы не позволяют производить контроль уровня в режиме реального времени с требуемым разрешением [1]. Предложено производить оценку уровня с помощью ультразвукового эхо-локационного метода [2], согласно которому уровень жидкости в барабане котла представляется возможным определять по значению коэффициента отражения ультразвукового (УЗ) сигнала от границ сред сталь-вода, сталь-пар с учетом особенностей прохождения УЗ через стенку барабана котла. В свою очередь чувствительность измерения данным методом определяется не только характеристиками прохождения ультразвука в стенке барабана, но также выбором типа и режима работы пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП).

Целью данной работы является обоснование требований и выбор режима работы ПЭП измерительного канала уровня жидкости барабана котла, согласно которому будет достигнут максимальный коэффициент преобразования ультразвукового излучения в информативный электрический сигнал.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**: выполнить анализ параметров существующих ПЭП, выбрать и обосновать режим его работы; разработать и исследовать математическую модель передаточной функции ультразвукового преобразователя; поставить требования к аналоговому блоку измерительного канала уровня жидкости в барабане котла.

Решение задач и результаты исследований

При проведении анализа по выбору ПЭП, который должен обеспечить максимальную чувствительность, интенсивность излучения и ширину полосы частот, руководствуемся анализом таких основных характеристик: геометрических размеров и физических свойств ПЭП (термостойкость пьезопластины при рабочей температуре от 200 до 540 °С);

прохождения ультразвука в среде излучения (параметры звукового поля, диаграмма направленности излучения).

Допустимая температура, при которой может надежно работать преобразователь, должна быть на $(20...50)^\circ\text{C}$ ниже температуры аллотропического превращения для кварца, точек Кюри для пьезокерамики, температуры размягчения для поливинилиденфторида [3]. Анализ свойств распространенных пьезоматериалов (см. табл. 1) показал, что наиболее подходящим материалом является ниобат лития, из-за его устойчивости к высокой температуре.

Таблица 1

Свойства пьезоматериалов			
Свойства	Кварц	ЦТС-19	Ниобат лития
Коэффициент электромеханической связи β	0,095	(0,4...0,5)	0,22
Допустимая температура $t, ^\circ\text{C}$	550	200	1160
Механическая добротность	50000	50	1000

Зная свойства ниобата лития [3] рассчитаем необходимые размеры пьезопластины. В случае прямого преобразователя, расстояние между полюсами излучателя $m=30\text{ мм}$, а радиус дискообразного излучателя $r=13\text{ мм}$ [4].

Для прозвучивания стенки в барабане котла шириной 88 мм и получения максимальной интенсивности необходим прямой излучатель продольных волн [5]. По схемам включения ПЭП различают:

- совмещённые ПЭП - такие, у которых один и тот же пьезоэлемент работает как в режиме излучения, так и в режиме приема (см.рис 1.а);
- раздельно-совмещенные (РС) ПЭП - такие, у которых в одном корпусе размещены два пьезоэлемента: один из которых работает только в режиме излучения, а другой только в режиме приема упругих колебаний (см.рис 1.б) [6].

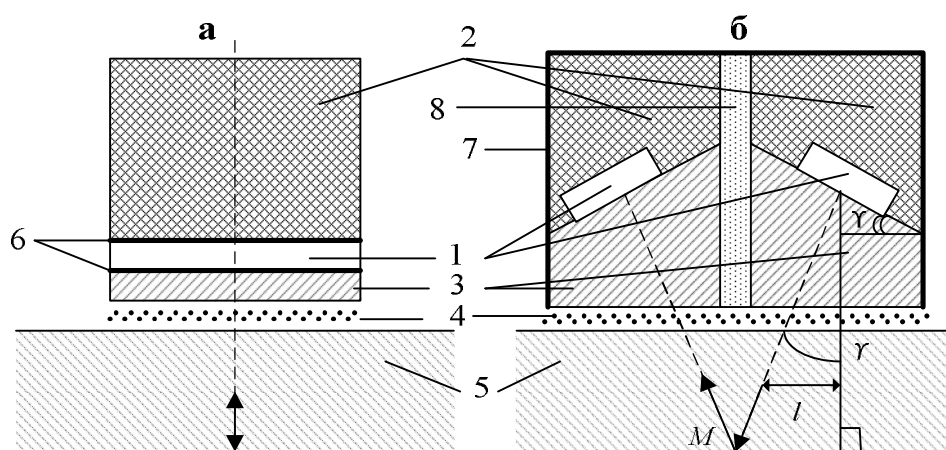


Рисунок 1 – Схема устройства пьезопреобразователей (1 – пьезоэлемент, 2 – демпфер, 3 – протектор, 4 – контактная жидкость, 5 – объект контроля, 6 – электрод, 7 – корпус, 8 – электроакустический экран)

Раздельно-совмещенные (РС) ПЭП характеризуются низким уровнем собственных шумов и малой мертвой зоной, что обеспечивает повышенную чувствительность [4]. Однако, РС-ПЭП обладают неравномерной интенсивностью по глубине излучения. Зона максимальной чувствительности и интенсивности соответствует зоне (M) пересечения

основных лепестков диаграммы направленности пьезоэлементов. Известно [6], что при излучении в сталь области оптимальных значений углов наклона пьезопластины γ лежат в интервале от 4 до 10 градусов (см. рис. 2), а при $\gamma > 10^\circ$ возникают акустические помехи, источниками которых являются поверхностные волны, распространяющиеся от излучателя к приемнику. Следовательно, чем выше направленность пучка, тем ниже интенсивность акустических помех.

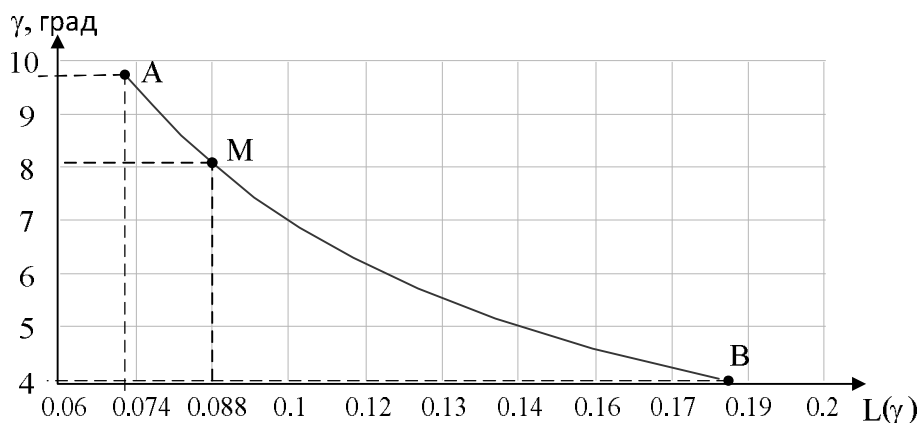


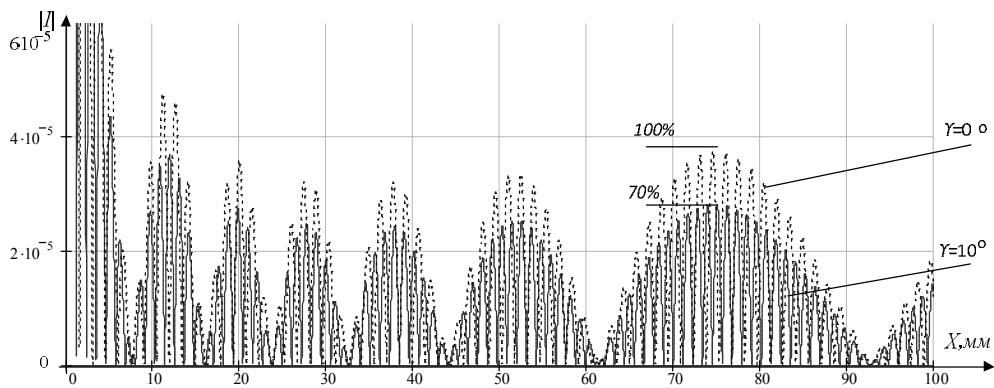
Рисунок 2 – Зависимость дальности зоны максимальной интенсивности от угла наклона пьезопластины для РС-ПЭП

Из рисунка 2 следует, что при угле $\gamma = 10^\circ$ пересечение основных лепестков диаграммы направленности пьезоэлементов будет на расстоянии $L = 71$ мм (точка A), что меньше ширины стенки барабана котла, следовательно, звуковые поля источника и приемника будут пересекаться и накладываться друг на друга. При угле $\gamma = 4^\circ$, $L = 181$ мм (точка B), что выходит за пределы стенки барабана котла, а возможность поместить отражатель внутрь барабана отсутствует. Ввиду того, что стенка барабана не стандартная, а стандартных РС-ПЭП с соответствующим $L = 88$ мм (точка M) углом $\gamma = 8.2^\circ$, при котором будет достигнута максимальная интенсивность, не существует, целесообразно выбрать прямой совмещенный ПЭП. Показателем интенсивности I звукового излучения является относительное звуковое давление [4]:

$$I = \frac{P_L(\varphi, \delta(T), U_0, \gamma, X)}{P_0(U_0)}, \quad (1)$$

где $P_0(U_0)$ – давление, создаваемое преобразователем в любой точке под поверхностью раздела либо непосредственно на излучателе при напряжении генератора U_0 ; $P_L(\varphi, T, U_0, \gamma, X)$ – звуковое давление в точке L на расстоянии X с учетом диаграммы направленности φ , угла наклона γ ПЭП, коэффициента затухания от температуры рабочей среды $\delta(T)$. Интенсивность звукового излучения ПЭП при $\gamma = 10^\circ$ и $\gamma = 0^\circ$ показана на рисунке 3.

Из рисунка 3 следует, что потери при использовании РС-ПЭП с наклонными пьезопластинами могут достигать от 10 до 30 % интенсивности излучения, следовательно, целесообразно использовать прямой совмещенный ПЭП. Проанализировав поведение ультразвукового излучения в среде [2], можно получить передаточную функцию, которая позволит оценить выходное напряжение U_{out} ПЭП.

Рисунок 3 – Интенсивность звукового излучения ПЭП при $\gamma=10^\circ$ и $\gamma=0^\circ$

Передаточную функцию при излучении Ku [6] определяют как отношение давления волны излучения P_0 к электрическому напряжению возбуждающего генератора U_0 , а передаточную функцию при приеме Kn – как отношение электрического напряжения на приемнике U_{out} к давлению падающей акустической волны P :

$$Ku = \frac{P_0}{U_0}, \quad Kn = \frac{U_{out}}{P}. \quad (2)$$

Для совмещенного ПЭП в условиях измерения уровня в барабане котла предлагается следующая модель передаточной функции:

$$K = Ku \cdot Kn \cdot K_{cp}^2, \quad (3)$$

структурные звенья которой представлены на рисунке 4:

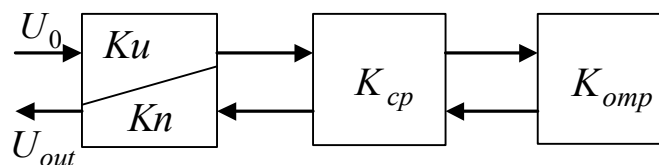


Рисунок 4 – Структурные звенья передаточной функции ПЭП

Формула (3) получена на основе коэффициента двойного преобразования, который является произведением передаточных функций приемника и излучателя, и передаточного коэффициента среды K_{cp} , учитывающего промежуточное ослабление ультразвука в результате затухания, расхождения лучей в среде прохождения, т.е. при условии, что относительное звуковое давление $P/P_0 \neq 1$ [2], и коэффициента отражения K_{omp} от границ сред вода-сталь, пар-сталь. С учетом (2) и (3) она может быть представлена в виде:

$$K(U_0, \varphi, \delta(T), X) = \frac{P_0}{U_0} \cdot \frac{U_{out}}{P} \cdot K_{cp}^2(\varphi, \delta(T), X, K_{omp}). \quad (4)$$

Коэффициент двойного преобразования $(\frac{P_0}{U_0} \cdot \frac{U_{out}}{P})$ зависит от большого числа факторов: характеристик материала пьезопластины, параметров внешней электрической

цепи, геометрии преобразователя, соотношения волновых сопротивлений пьезопластины-демпфер- среда излучения, частоты и добротности электрического колебательного контура, соединенного с пьезопластиной и др. Изменяя эти факторы, можно регулировать значение коэффициента двойного преобразования и, следовательно, управлять чувствительностью ПЭП. Для этого воспользуемся схемой замещения ПЭП в виде эквивалентного комплексного электрического сопротивления [7], показанной на рисунке 5.

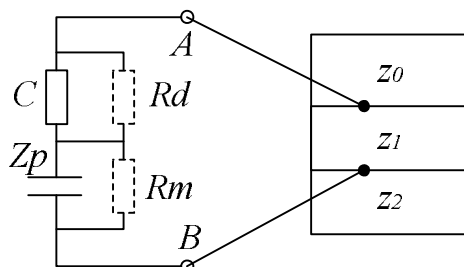


Рисунок 5 - Схема замещения ПЭП

На рисунке 5 обозначено: z_0, z_1, z_2 – акустические импедансы демпфера, пьезопластины и стали соответственно; сопротивления диэлектрических R_d и механических R_m потерь. На резонансной частоте электрического контура коэффициент двойного преобразования можно представить приближенной формулой:

$$|K| = \frac{32}{\pi^3} \beta^2 \frac{z_2}{z_1} \frac{Q_e Q_a^2}{\left(1 + \frac{8}{\pi^2} \beta^2 Q_e Q_a\right)^2}, \quad (5)$$

где $Q_a = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{z_1}{z_0 + z_2}$ и Q_e – акустическая и электрическая добротности [8].

Максимальное значение $|K| = K_{max}$ достигается при условии:

$$Q_e = \frac{1}{\omega_0 R_a C} = Q_{e_opt} = \frac{\pi}{8\beta^2 Q_a}, \quad (6)$$

где R_a – активное сопротивление, $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{h_1}$ – емкость пьезопластины. Зная свойства ПЭП

определим значения данных составляющих: $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{12}$ Ф/м диэлектрическая проницаемость вакуума, ε – диэлектрическая проницаемость ниобата лития, S – площадь пьезопластины, h_1 – толщина пьезопластины.

Для эффективного возбуждения пьезопластины необходимо, чтобы собственная частота f толщинных колебаний пьезоэлемента совпадала с частотой электрических колебаний f_s , т.е. $f_s = f$ [9]. Это условие обеспечивается, когда толщина пьезопластины

соответствует условиям: $h_1 = \frac{\lambda_1}{2} = \frac{c_1}{2f} = 1,8 \text{ мм}$, $\frac{2r}{h_1} \approx 20$, где λ_1 и c_1 – длина волны и скорость

звука в материале пьезопластины соответственно. Соблюдение требований к размерам пьезоэлемента обеспечивает максимальный электрический сигнал на обкладках пластины [4]. Тогда активное сопротивление составит:

$$R_a = \frac{\beta^2}{\omega C k_1 h_1} \cdot \frac{4z_1}{z_0 + z_2} = 9.366 \text{ Ом}, \quad (7)$$

где $k_1 = 2\pi/\lambda_1 = \omega_1/c_1$ - волновое число в материале пластины. Зависимость активного сопротивления от акустического импеданса контактирующих с пьезоэлементом сред показана на рисунке 6.

Из рисунка 6 видно, что чем больше сумма $(z_0 + z_2)$ в активном сопротивлении, тем оно меньше, следовательно, при одинаковом напряжении генератора отдаваемая им мощность будет расти. Поэтому материал демпфера выбираем таким, чтобы обеспечивать достаточный отвод и затухание ультразвукового излучения в самом демпфере. Для наилучшего демпфирования акустическое сопротивление демпфера должно равняться акустическому сопротивлению пьезопластины.

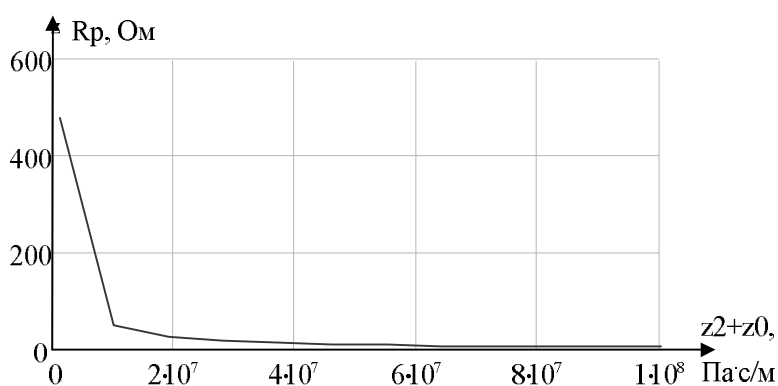


Рисунок 6 – Зависимость активного сопротивления от акустического импеданса контактирующих с пьезоэлементом сред

Для акустического согласования необходимо подобрать требуемый материал демпфера с учетом высокотемпературной устойчивости. Наиболее распространенным и подходящим является искусственная смола (ЭДП) с добавками порошковых наполнителей с высокой насыпной плотностью [4]. Ее акустический импеданс $z_0 = 6 \cdot 10^6 \text{ Па·с/м}$, а рабочая температура до 600°C .

Сопротивления потерь определяют внутреннее активное сопротивление пластины, из-за которого комплексное сопротивление не может быть чисто реактивным. Диэлектрические R_d и механические R_m потери для данного ПЭП составят:

$$R_d = \frac{1}{\omega C \operatorname{tg}(\varphi)} = 2663 \text{ Ом}, \quad R_m = \frac{4\beta^2 Q_m}{\pi^3 f C} = 4179 \text{ Ом},$$

где $\operatorname{tg}(\varphi)$ - тангенс угла потерь, Q_m - механическая добротность ниобата лития. Расчеты показывают, что $R_m > R_d$, следовательно, механические потери сильнее шунтируют пьезосопротивление, чем диэлектрические. Оптимальное согласование ПЭП со средой позволяет достичь максимальной чувствительности и широкополосности. Оптимальное значение $K_{\max} = 0.5$ [6], для данного ПЭП получено значение:

$$K_{\max} = \frac{0.5z_2}{z_0 + z_2} = 0.442.$$

По формуле (5) при условии $Q_e = Q_{e_{opt}}$ а так же при изменении R_a получены амплитудно-частотные характеристики для коэффициента двойного преобразования (см рис.7), которые позволяют оценить ширину полосы пропускания частот.

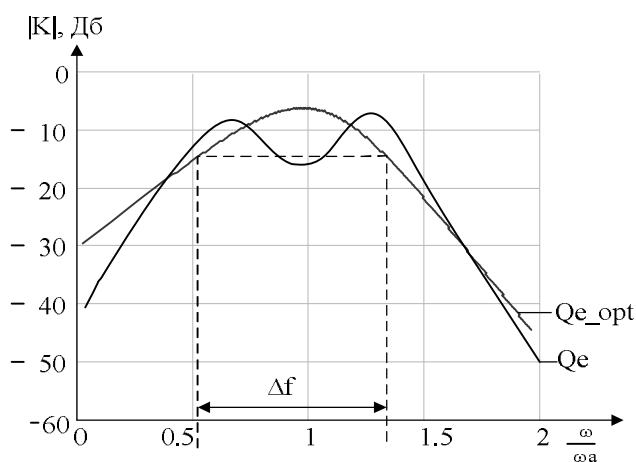


Рисунок 7 - Амплитудно-частотные характеристики для коэффициента двойного преобразования ПЭП из ниобата лития

С учетом (4) и (5) получаем напряжение на выходе ПЭП:

$$U_{out} = U_0 \cdot K(U_0, \varphi, \delta(T), X). \quad (8)$$

На основе проведенных исследований разработана функциональная схема аналогового блока канала измерения уровня на основе ультразвукового метода (см. рис. 8).

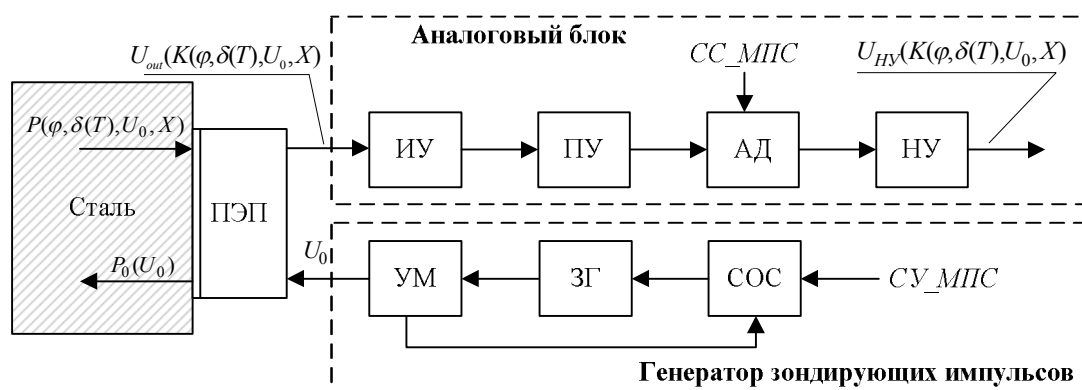


Рисунок 8 – Функциональная схема аналогового блока измерительного канала уровня жидкости в барабане котла

Акустическая волна со звуковым давлением $P_0(U_0)$, создаваемая ПЭП в режиме источника при напряжении генератора U_0 , поступает в стенку барабана котла толщиной X , где ее интенсивность ослабляется коэффициентом затухания с учетом температуры $\delta(T)$ и диаграммы направленности излучения φ . После отражения от границы сред сталь-вода или сталь-пар ультразвуковые колебания частично поглощаются, отражаются и возвращаются на ПЭП, который переключается в режим приемника. ПЭП преобразует звуковое давление отраженных ультразвуковых колебаний в сигнал напряжения $U_{out}(K(\varphi, \delta(T), U_0, X))$, которое поступает на вход избирательного усилителя (ИУ) аналогового блока измерительного канала уровня жидкости барабана котла. Избирательный усилитель ИУ необходим для уменьшения

влияния шумов, обусловленных побочными частотами в выходном информативном сигнале, которые ниже или выше частоты 2 МГц приема зондирующих ультразвуковых колебаний.

Усиление и приведение к унифицированному уровню выходного сигнала от ИУ осуществляют предварительный ПУ и нормирующий НУ усилители. Амплитудный детектор АД необходим для отслеживания и поддержания максимума входного сигнала для данного промежутка времени до прихода сигнала другого уровня, пока не будет принят сигнал сброса от микропроцессорной системы. Блок генератора зондирующих импульсов состоит из задающего генератора ЗГ, усилителя мощности УМ, системы обратной связи СОС, на которую поступает сигнал управления от микропроцессорной системы.

Таким образом, принятый сигнал с выхода ПЭП U_{out} преобразуется в акустическом блоке измерительного канала к унифицированному виду на выходе НУ U_{HY} для последующей передачи и цифровой обработки в микропроцессорной системе. Характеристика преобразования $U_{HY}(U_{out})$ информативного сигнала представлена на рис. 9.

На рисунке 9 показаны результаты моделирования [2]: U_{outmin} – информативный сигнал напряжения с выхода ПЭП, при отражении зондирующих УЗ-колебаний от воды с диапазоном изменения $\pm\Delta$ мкВ; U_{outmax} – информативный сигнал напряжения с выхода ПЭП, при отражении зондирующих УЗ-колебаний от пара с диапазоном изменения $\pm\Delta'$ мкВ.

По результатам предварительных расчетов средние значения напряжений с выхода ПЭП в режиме приемника при амплитуде зондирующих импульсов в режиме излучателя $U_0 = 1500$ В с частотой $f_0 = 2$ МГц составляют $U_{outmin} = 4 \pm 0,3$ мкВ и $U_{outmax} = 7 \pm 0,3$ мкВ, которые на выходе НУ должны соответствовать нижнему и верхнему уровню напряжения U_{HY} . Диапазон выходных сигналов от U_{outmin} до U_{outmax} , соответствующий границам фазового перехода жидкости в парообразное состояние, нуждается в дополнительных исследованиях, так как точность измерения уровня напрямую зависит от определения данных границ.

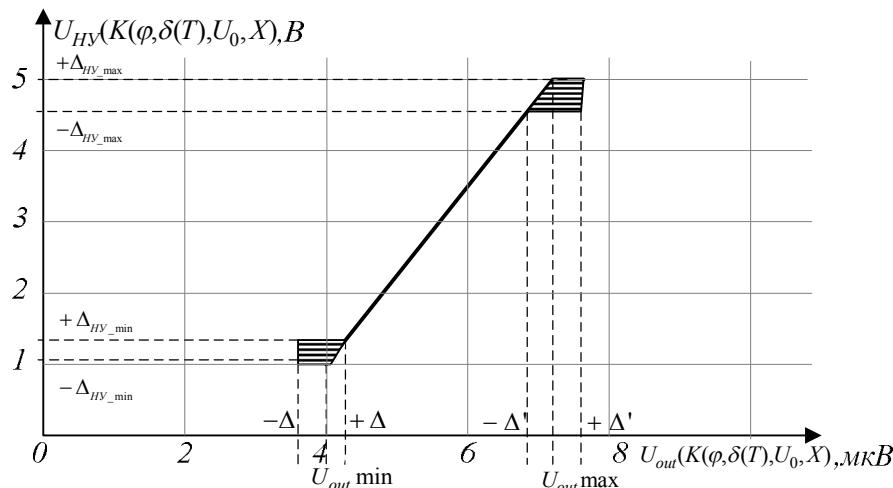


Рисунок 9 – Зависимость напряжения на выходе НУ от напряжения на выходе ПЭП

Таким образом, поставленные требования к измерительному преобразователю и аналоговому блоку измерительного канала дают возможность разработать и реализовать макетный образец измерителя уровня жидкости в барабане котла, что позволит оценить его метрологические характеристики и проверить адекватность разработанных математических моделей.

Выводы

1. На основе анализа типов ПЭП выбран прямой совмещенный ПЭП, интенсивность излучения которого максимальна вдоль всей оси излучения, с радиусом $r = 13$ мм. Выбран пьезоматериал – ниобат лития (акустический импеданс $z_l = 7.32 \cdot 10^6$ Па·с/м, а рабочая

температура до 1160°C), обеспечивающий максимальную устойчивость при работе в заданном диапазоне температур, а также подобран материал демпфера для оптимального акустического согласования - искусственная смола (ЭДП) с добавками порошковых наполнителей с высокой насыпной плотностью (акустический импеданс $z_0=6 \cdot 10^6 \text{ Па}\cdot\text{с}/\text{м}$, а рабочая температура до 600°C).

2. Исследована схема замещения совмещенного ПЭП, которая учитывает его пьезоэлектрические свойства: механическую добротность Q_M , коэффициент электромеханической связи β , акустические импедансы контактирующих сред – демпфера и стали, что позволило установить механические и электрические потери. Поставлены требования к параметрам преобразователя, которые позволят получить максимальную чувствительность измерителя.

3. Предложена математическая модель передаточной функции (4) на основе коэффициента двойного преобразования, который составляет $K_{max}=0.442$ в полосе пропускания $\Delta f=0.52..1.35 f_0$, позволяющая учесть коэффициент промежуточного ослабления ультразвука в результате затухания и расхождения лучей в среде прохождения, а также свойства пьезоматериала и его согласование с контактирующими средами.

4. Поставлены требования к аналоговому блоку измерительного канала контроля уровня в барабане котла, что в дальнейшем даст возможность реализовать макетный образец измерителя, оценить его метрологические характеристики и проверить адекватность разработанных математических моделей.

Список использованной литературы

1. Авраменко С.В. Компьютерная система мониторинга уровня жидкости в барабане котла / С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». - 2012. – Вип. 22(200). – С. 135-143.
2. Авраменко С.В. Исследование математической модели распространения ультразвука в стенке барабана котла / С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Обчислювальна техніка та автоматизація». - 2013. – Вип. 1(24). – С. 205-214.
3. G.Bradfield. Ultrasonic transducers. I. Introduction to ultrasonic transducers, Part B. – “Ultrasonic”, 1970, 8, 3, 177-189.
4. Авраменко С.В. Определение количества ультразвуковых преобразователей измерителя уровня жидкости в барабане котла / С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк // Збірник тез доповідей другої наукової міжнародної конференції [«Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах» (ВКДТС-2013)], (29-30 жовтня 2013р.). – Вінниця: ПП «Едельвейс і К», 2013. – С. 83-86.
5. Авраменко С.В. Исследование акустического тракта прямого пьезопреобразователя в измерителе уровня жидкости в барабане котла / С.В. Авраменко, В.П. Тарасюк // Збірник тез доповідей XIV Міжнародної науково-технічної конференції [«Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих»], (23 квітня 2014 р.). – Донецьк: ДонНТУ, 2014. – С. 290-294.
6. Домаркас В.И. Контрольно-измерительные пьезоэлектрические преобразователи / В.И. Домаркас, Р.-И.Ю. Кажис. – Вильнюс: «Минтис», 1975. – 258 с.
7. Неразрушающий контроль / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – -
Кн.2: Акустические методы контроля: практ. пособие. - 1991. – 283 с.
8. Криворудченко В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта: [учебное

пособие для вузов ж.-д. транспорта] / В.Ф. Криворудченко, Р.А. Ахмеджанов; под ред. В.Ф. Криворудченко. – М.: Маршрут, 2005 – 436 с.

9. Ермолов И. Н. Теория и практика ультразвукового контроля / И. Н. Ермолов. - М.: Машиностроение, 1981. - 240 с.
10. Методы акустического контроля металлов / под. ред. Н. П. Алешина. - М.: Машиностроение, 1989. - 454 с.

References

1. Avramenko S.V., Tarasyuk V.P. (2012), "The computer system for the liquid level monitoring in the boiler drum", *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicznego universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, vol. 22, no. 200, pp. 135–143.
2. Avramenko S.V., Tarasyuk V.P. (2013), "The mathematical model investigation of ultrasound propagation in the boiler drum wall", *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicznego universytetu. Serija: «Obchysljuval'na tehnika ta avtomatyzacija»*, vol. 1, no. 24, pp. 205–214.
3. G.Bradfield. *Ultrasonic transducers. I. Introduction to ultrasonic transducers*, Part B. – "Ultrasonic", 1970, 8, 3, 177-189.
4. Avramenko S.V., Tarasyuk V.P. (2013), "Determination of the number of liquid level meter ultrasonic transducers in the boiler drum", *Zbirnik tez dopovidey drugoi naukovoї msjnarodnoi konferencii "Vimiruvanya, kontrol' ta diagnostika v tehnicnih sistemah" (VKDTS-2013)*, Vinnitsa, 29-30 October, Edelveys & C, pp. 83–86.
5. Avramenko S.V., Tarasyuk V.P. (2014), "Justification of the mode photodiode circuit realization of dust concentration meter analog block", *Zbirnik naukovih prac' XIV mijnarodnoi naukovo-tehnicnoi konferencii aspirantiv I studentiv «Avtomatizacija tehnologichnih ob'ektiv ta procesiv. Poshuk molodih»*, Donetsk, 23 April, Donetsk national technical university, pp. 290–294.
6. Domarkas V.I., R.-J. Kazys (1975), *Kontrol'no-izmeritel'nyye p'yezoelektricheskiye preobrazovateli* [Piezoelectric transducers for measuring devices], "Mintis", Vilnius, Lithuania.
7. Yermolov I.N., Aleshin N.P., and Potapov A.I. (1991), *Nerazrushayushchiy kontrol'. Kniga 2. Akusticheskiye metody kontrolya: Prakt. Posobiye* [Non-destructive testing. Book 2. Acoustic monitoring procedures: Practicals. Manual], in Sukhorukov V.V. (ed), Vyssh.shk., Moscow, Russia.
8. Krivorudchenko V.F., Akhmedzhanov R.A. (2005), *Sovremennyye metody tekhnicheskoy diagnostiki i nerazrushayushchego kontrolya detaley i uzlov podvizhnogo sostava zheleznodorozhnogo transporta: Uchebnoye posobiye dlya vuzov zh.-d. Transporta* [Modern methods of technical diagnostics and nondestructive testing of parts and assemblies of railway rolling stock: Textbook for universities railroad transport], in Krivorudchenko V.F. (ed.), Marshrut, Moscow, Russia.
9. Ermolov I. N.(1981), *Teoriya i praktika ul'trazvukovogo kontrolya* [Theory and practice of ultrasonic testing], Mashinostroyeniye, Moscow, Russia.
10. Aleshin N.P. (ed.) (1989), *Metody akusticheskogo kontrolya metallov* [Methods acoustic testing of metals], Mashinostroyeniye, Moscow, Russia.

Надійшла в редакцію:
28.04.2014

Рецензент:
д-р техн. наук, проф. Зорі А.А.

С.В. Соломічева

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Обґрунтування вибору п'єзоелектричного перетворювача вимірювального каналу контролю рівня рідини в барабані котла. Досліджено схему заміщення прямого суміщеного п'єзоперетворювача, що враховує його п'єзоелектричні властивості. Поставлено вимоги до

параметрів перетворювача, які дозволять отримати максимальну чутливість вимірювання. Запропоновано математичну модель передаточної функції на основі коефіцієнта подвійного перетворення, що дозволяє врахувати коефіцієнт проміжного ослаблення ультразвуку в результаті загасання і розбіжності променів в середовищі проходження, а також властивості п'єзоматеріалу та його узгодження з контактуючими середовищами. Поставлено вимоги до аналогового блоку вимірювального каналу контролю рівня в барабані котла.

Ключові слова: п'єзоперетворювач, добротність, акустичний імпеданс, інтенсивність, чутливість.

S.V. Solomicheva

Donetsk National Technical University

Justification of selecting of the piezoelectric converters in liquid level control measuring channel in the boiler drum. There is an analysis of types of piezoelectric transducers, on the basis of which combined direct converter is selected, the radiation intensity is maximum along the axis of the radiation. Piezoelectric material is selected - lithium niobate, providing maximum stability when used in a given temperature range, and selected damper material for optimum acoustic matching - synthetic resin with the addition of particulate fillers. Material of the damper is chosen such as to provide sufficient heat and attenuation of ultrasonic radiation in the damper. Replacement scheme combined piezo transducer, which takes into account its piezoelectric properties: mechanical quality factor Q_M , electromechanical coupling coefficient β , the acoustic impedances of the contacting media - damper and steel, which allowed establishing mechanical and electrical losses. Requirements to parameters of the converter are supplied, that will get the maximum sensitivity of the measurement. Broadband is achieved by aligning the drive parameters and electrical oscillatory circuit. A mathematical model of the transfer function (4), based on double conversion coefficient, which is $K_{MAX}=0.442$ in the passband $\Delta f=0.52..1.35f_0$, allowing to take into account the ratio of intermediate weakening of ultrasound attenuation and the resulting divergence of transmission environments, as well as properties of piezomaterial, is presented. The received signal from the transmitter output U_{out} is converted in the acoustic measuring channel block to a unified look at the output of the normalizing amplifier U_{NU} for subsequent transmission and digital processing in the microprocessor system. Output range from $U_{out,min}$ to $U_{out,max}$ corresponds to the phase boundary between the liquid to the vapor state. Requirements are set to the analog block of measuring channel of level control in the boiler drum, which further gives the opportunity to realize the meter scale-model, estimate its metrological characteristics and test the adequacy of the developed mathematical models.

Keywords: piezoelectric transducer, quality factor, acoustic impedance, intensity, sensitivity.



Соломичева Светлана Викторовна, Украина, закончила Донецкий национальный технический университет, магистр, аспирант кафедры электронной техники. ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет» (ул. Артема, 58, г. Донецк, 83001, Украина). Основное направление научной деятельности – разработка, моделирование и усовершенствование технических и программных компонент компьютеризированных систем измерения уровня жидкости в толстостенных резервуарах.