

*Л.В. ГЛЕБОВА*, асп., НТУ "ХПИ"

*И.В. ТЮПА*, к-т техн. наук, докторант НТУ «ХПИ»

*А.Л. ГРИГОРЬЕВ*, д-р техн. наук, проф., НТУ "ХПИ"

*С.Н. ГЛОБА*, к-т техн. наук, доц., НТУ "ХПИ"

## **ВОЗБУЖДЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ЕМКОСТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

У даній роботі запропоновано теоретичну модель збудження акустичних коливань за допомогою емнісного перетворювача. Отримано графічні залежності тиску для різних співвідношень поляризуючої та змінної напруги, надано рівняння зміщення акустичної хвилі в поверхневому шарі об'єкту контролю та побудовані відповідні залежності.

In this work the theoretical model of excitation of acoustic vibrations is offered by a capacity transformer. Graphic dependences of pressure are got for different correlations of polarizing and variable tension, equalization of displacement of acoustic wave is given in the superficial layer of control object and the proper dependences are built.

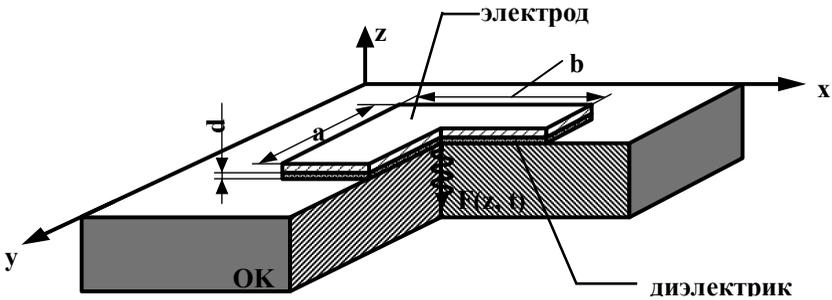
**Введение.** Наряду с известными и изученными способами ультразвукового неразрушающего контроля с использованием в качестве источника возбуждения и приема акустических колебаний пьезоэлектрических преобразователей, а также, электромагнитно-акустических преобразователей, отдельное место занимает малоизученная область – емкостные преобразователи возбуждения и приема ультразвуковых колебаний.

Данный способ наряду с очевидными преимуществами, а именно, широким частотным диапазоном возбуждения и приема ультразвуковых колебаний, отсутствием контактной жидкости, имеет существенный недостаток, связанный с низкой чувствительностью данного метода ( $10^3$  раз) по сравнению с классическими [1]. Как показал анализ литературы, данный недостаток и повлиял на отсутствие теоретических и экспериментальных исследований в этой области. Следует отметить, что, воспользовавшись результатом работы [2], емкостной способ возбуждения позволяет сравнительно эффективно создавать ультразвуковые колебания в объекте контроля (ОК) с амплитудой порядка  $10^{-9}$  м. Как показали экспериментальные исследования [3], емкостной преобразователь при данной амплитуде акустической волны может эффективно работать в режиме возбуждения и приема в широком частотном диапазоне.

**Основная часть.** На рис.1 показана конструкция ультразвукового емкостного преобразователя, одна из обкладок которого и есть ОК. Устроен он следующим образом. Параллельно одной из торцевых проводящих поверхностей образца, предназначенного для ультразвукового контроля,

располагается электропроводящая пластина (электрод). Этот конденсатор поляризован постоянным напряжением  $U_{\Pi}$ . Акустические колебания в электропроводной поверхности могут быть возбуждены силами взаимодействия электрических зарядов, если эту поверхность сделать одной из обкладок конденсатора и подавать переменное напряжение амплитуды  $U_0$ .

Рис. 1. Модель ультразвукового емкостного преобразователя



Переменная составляющая давления на поверхность ОК определяется формулой

$$P(t) = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 U_0 U_{\Pi} \sin \omega t}{2d_0^2} - \frac{\varepsilon\varepsilon_0 U_0^2 \cos 2\omega t}{8d_0^2} \quad (1)$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость прослойки;  $d_0$  – расстояние между обкладками конденсатора.

На рис. 2,3 показаны графики изменения переменной составляющей давления для различных соотношений переменного и постоянного сигналов.

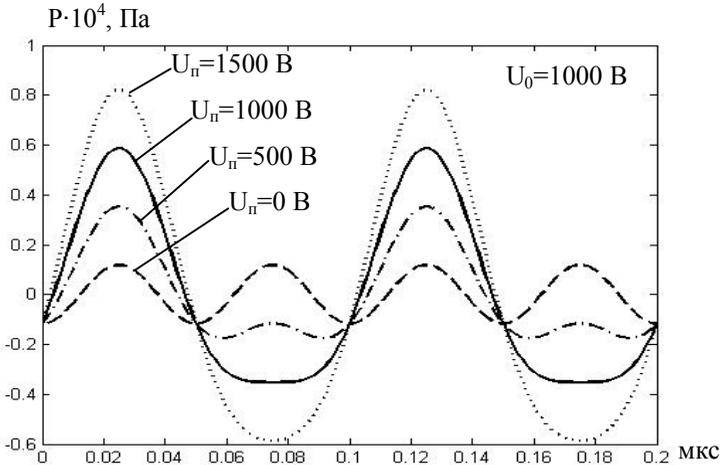


Рис. 2. Графики зависимости давления  $P(t)$  при постоянной амплитуде переменного напряжения  $U_0=1000$  В

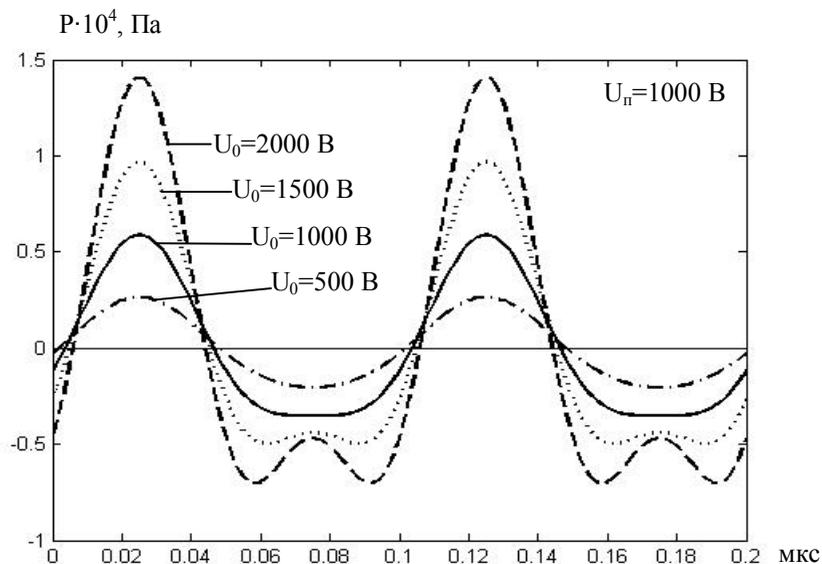


Рис. 3. Графики зависимости давления  $P(t)$  при постоянном значении поляризующего напряжения  $U_n = 1000$  В

Из графиков видно, что в первом случае, при отсутствии поляризующего напряжения  $U_n = 0$ , происходит удвоение частоты давления  $P(t)$  по сравнению с возбуждающим напряжением  $U_0$ . При этом с ростом поляризующего напряжения возрастает амплитуда давления  $P(t)$ , что в свою очередь в дальнейшем приводит к увеличению амплитуды смещения ультразвуковой волны. Тем не менее, бесконечное увеличение поляризующего напряжения не представляется возможным в силу ограничения со стороны возможного пробоя в диэлектрическом слое. Во втором случае, увеличение амплитуды переменного напряжения  $U_0$  приводит к значительному изменению формы сигнала давления  $P(t)$ , что приводит к сложному спектру акустических колебаний в ОК. Отсюда можно сделать вывод, что наиболее благоприятным с точки зрения формы и амплитуды сигнала  $P(t)$  является выбор близких по своим значениям величин поляризующего  $U_n$  и переменного  $U_0$  напряжений.

Задача распространения ультразвуковых колебаний в ОК может быть решена в потенциальном варианте. Воспользовавшись результатами работы [4], рассмотрим смещение  $U$  ультразвуковой волны на поверхности ОК как реакцию на сосредоточенную силу  $F$  создаваемую давлением  $P(t)$  на малую площадку поверхности  $\Delta S$ . Решение будем искать в виде распространения ультразвуковых колебаний от центра прямоугольной пластины  $a > b$  вдоль

координаты  $x$  (см. рис. 1). Выражение для смещения ультразвуковой волны в любой точке поверхности ОК будет иметь вид:

$$U(R) = \frac{\rho}{2\pi K_0} \int_{-a}^a \int_{-b}^b \frac{\sin \left[ k\sqrt{(x-R)^2 + y^2} \right] \left[ 1 - \cos \left[ k\sqrt{(x-R)^2 + y^2} \right] \right]}{\sqrt{(x-R)^2 + y^2} \left[ k\sqrt{(x-R)^2 + y^2} \right]^2} dy dx \quad (2)$$

где  $\rho$  - плотность материала ОК;  $K_0$  - модуль сжимаемости;  $k$  - волновое число;  $R$  - расстояние до произвольной точки поверхности.

Для примера, на рис. 4 показан график зависимости смещения  $U(R)$  в ОК для электрода размером  $20 \times 10$  мм, частота возбуждения ультразвуковых колебаний  $f=2,5$  МГц, ОК - стальная пластина прямоугольной формы.

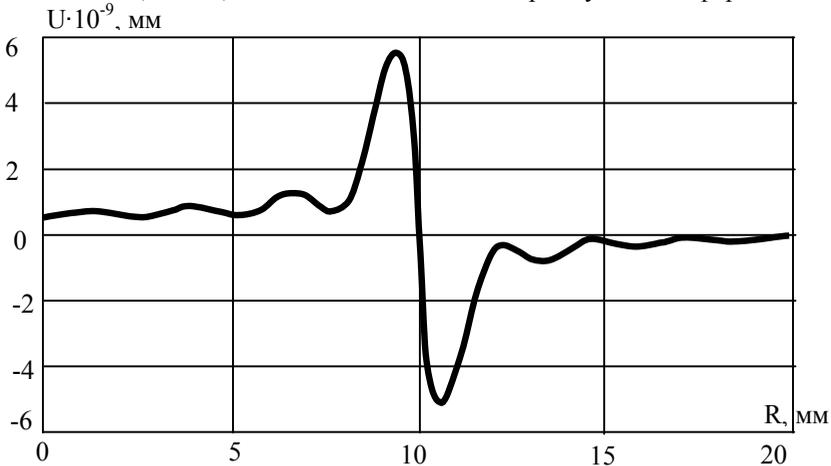


Рис. 4. Смещение упругой волны в поверхности ОК

**Выводы.** Из графика видно, что смещение акустической волны в центре пластины незначительно, максимальная амплитуда смещения  $U$  наблюдается вблизи границы пластины  $R=10$  мм и составляет порядка  $6 \cdot 10^{-9}$  мм и быстро затухает практически до нулевого значения на расстоянии  $R=20$  мм. Данный расчетный результат хорошо согласуется с физическими представлениями о процессе возбуждения ультразвуковых колебаний и экспериментальными данными.

**Список литературы:** 1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В. Клюева. Т.3: Ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге. - М.: Машиностроение, 2004. 864 с. 2. Ю.Б. Дробот, А.И. Кондратьев, В.А. Луговой. Возбуждение коротких упругих импульсов емкостным методом // Дефектоскопия. - 1983. - №3. - с. 35-37. 3. Г.М. Сучков, Л.В. Глебова. Дослідження факторів, які впливають на збудження акустичних імпульсів ємнісним методом // Вісник НТУ «ХПІ». - 2008. - №48. - с. 116-123. 4. Уравнения математической физики. А.Н. Тихонов, А.А. Самарский. М.: Наука, 1972. 736 с.