

Литература

1. Вильямс, Д. Ф. Имплантаты в хирургии / Д. Ф. Вильямс, Р. Роуф; пер. с англ. Е. В. Колпакова. – М. : Медицина, 1978. – 552 с.
2. Kramer, K.-H. Implants for surgery – a survey on metallic materials / K.-H. Kramer // Materials for Med. Engineering. – 1999. – Vol. 2. – P. 9–29.
3. Effects of implant surface microtopography on osteoblast gene expression / C. Massaki [et al.] // Clin-

cal Oral Implants Research. – 2005. – Vol. 16, № 6. – P. 650–656.

4. Модифицирование поверхности титановых имплантатов и ее влияние на их физико-химические и биомеханические параметры в биологических средах / В. В. Савич [и др.]; под науч. ред. В. В. Савича. – Минск : Беларус. навука, 2012. – 244 с.

5. Effect of dental implants diameter on fatigue performance Part II : Failure analysis / K. Shemtov-Yona [et al.] // Clin. Implant Dent. Relat. Res. – 2014. – Vol. 16. – P. 178–184.

УДК 615.82

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЬЕЗОКЕРАМИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ ОБРАТНОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ СВЯЗИ УДАРНО-ВОЛНОВОГО ГЕНЕРАТОРА
Монич С.Г., Есьман Г.А., Галаваченко П.О.

*Белорусский национальный технический университет
 Минск, Республика Беларусь*

Аннотация. В данной работе приведен расчет геометрических параметров пьезокерамического излучателя обратной биологической связи ударно-волнового генератора. Работа датчика биологической обратной связи по точкам акупунктуры основана на законе Лоренца. Отмечено, что оптимальным вариантом работы составного преобразователя является размещение пьезоэлементов между узловой плоскостью и торцом отражающей накладки. При этом получают промежуточные усредненные условия по прочности пьезоматериала, КПД и стабильности работы преобразователя.

Ключевые слова: обратная связь, пьезокерамический излучатель, ударно-волновой генератор.

DETERMINATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF A PIEZOCERAMIC BIOLOGICAL FEEDBACK EMITTER OF A SHOCK WAVE GENERATOR

Monich S., Yesman G., Galavachenko P.

*Belarusian National Technical University
 Minsk, Belarus*

Abstract. In this article is carried out the calculation of the geometric parameters of a piezoceramic biological feedback emitter of a shock wave generator. The operation of the biofeedback sensor for acupuncture points is based on Lorentz's law. It is noted that the best option for the operation of a composite converter is the placement of piezoelectric elements between the nodal plane and the end of the reflecting plate. In this case, intermediate averaged conditions are obtained for the strength of the piezomaterial, efficiency and stability of the converter.

Key words: feedback, piezoceramic emitter, shock wave generator.

*Адрес для переписки: Монич С.Г., пр. Независимости, 65, г. Минск 220113, Республика Беларусь
 e-mail: sgmonich@bntu.by*

Биологическая обратная связь позволяет контролировать эффективность проведения ударно-волновой терапии и регистрировать изменение электрических сигналов биотканей в результате активации обменных процессов [2–6, 8, 9].

Датчик биологической обратной связи выполнен в виде пьезокерамического излучателя и представляет собой пьезоэлемент, на который наклеена катушка индуктивности с множеством витков (рис. 1).

Работа датчика биологической обратной связи по точкам акупунктуры основана на законе Лоренца [7]. Биообъект излучает собственное магнитное поле. Если в это поле поместить движущуюся катушку индуктивности, в ней наведется ЭДС, которое можно измерить, предварительно усилив сигнал.

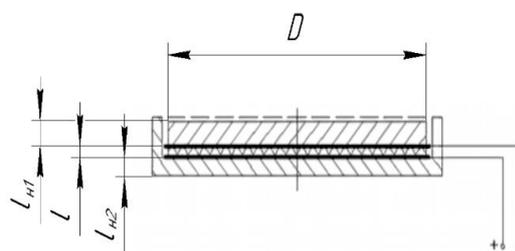


Рисунок 1 – Схема пьезокерамического преобразователя с пассивной накладкой

Длина волны, излучаемая преобразователем:

$$\lambda = \frac{c_3^D}{f} = \frac{4120}{1 \cdot 10^6} = 0,004 \text{ м.}$$

Рассчитаем размеры пьезокерамических накладок (рис. 1) [1]. Внешний диаметр:

$$D = \frac{20 \cdot \lambda}{4} = \frac{20 \cdot 0,004}{4} = 0,020 \text{ м.}$$

Площадь излучающей поверхности преобразователя:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,020^2 = 3,333 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Удельная акустическая мощность:

$$P_{\text{уд}} = \frac{P_{\text{ак}}}{S} = \frac{0,0005}{3,333 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ Вт/м}^2.$$

Волновое число в пьезокерамике:

$$K = \frac{2\pi f}{c_3^D} = \frac{2\pi \cdot 1000000}{4120} = 1525,045 \text{ м}^{-1}.$$

Волновое число в накладке:

$$K_1 = K_2 = \frac{2\pi f}{c_1} = \frac{2\pi \cdot 1000000}{5164} = 1217 \text{ м}^{-1}.$$

Толщина пьезокерамических пластин выбирается из условия:

$$\frac{\pi}{8K} < l < \frac{\pi}{3K};$$

$$\frac{\pi}{8 \cdot 1525,045} < l < \frac{\pi}{3 \cdot 1525,045} \text{ м.}$$

Примем $l = 0,0006 \text{ м}$.

Длина волны в материале накладки:

$$\lambda_1 = \lambda_2 = \frac{c_2}{f} = \frac{5164}{1000000} = 0,005 \text{ м.}$$

Линейный размер тыльной накладки определяется из условия:

$$0,1\lambda_2 < l_{H2} < 0,2\lambda_2;$$

$$0,1 \cdot 0,005 < l_{H2} < 0,2 \cdot 0,005 \text{ м.}$$

Примем размер тыльной накладки: $l_{H2} = 0,001 \text{ м}$.

Определим отношение характеристических сопротивлений рабочей, тыльной накладок и активного элемента:

$$q_1 = q_2 = \frac{\rho_2 c_2 s_1}{\rho_3 c_3^D s} = \frac{2700 \cdot 5164 \cdot 1,178 \cdot 10^{-6}}{7200 \cdot 5164 \cdot 1,178 \cdot 10^{-6}} = 0,470.$$

Толщину рабочей накладки l_{H1} определяем из условия резонанса полуволнового преобразователя составного трехсекционного стержня:

$$\text{tg}(K_1 l_{H1}) = \frac{q_2 \text{tg}(K_2 l_{H2}) + \text{tg}(Kl)}{q_1 (q_2 \text{tg}(K_2 l_{H2}) \text{tg}(Kl) - 1)},$$

$$\text{tg}(K_1 l_{H1}) = 8,381.$$

Тогда толщина рабочей накладки:

$$l_{H1} = \left| \frac{\pi - \arctg(\text{tg}(K_1 l_{H1}))}{K_1} \right| = 0,0014 \text{ м.}$$

На эффективность работы преобразователя влияет положение пьезоэлементов в системе (в узловой плоскости, в пучности или при промежуточном положении между узлом и пучностью колебаний), толщина пьезоэлементов, соотношение удельных волновых сопротивлений (произведения плотности материала на скорость распространения УЗ колебаний в нем) пьезоэлементов и накладок. Оптимальным вариантом работы составного преобразователя является размеще-

ние пьезоэлементов между узловой плоскостью и торцом отражающей накладки. При этом получаются промежуточные усредненные условия по прочности пьезоматериала, КПД и стабильности работы преобразователя.

Определим положение нейтрального сечения полуволнового преобразователя из уравнения:

$$\text{tg}(K_1 l_{H1}) \cdot \text{tg}(K x_0) = \frac{\rho c_3^D s}{\rho_1 c_1 s_1} = \frac{1}{q_1}.$$

Решив его с помощью пакета MathCad, получим следующее значение для положения нейтрального сечения полуволнового преобразователя:

$$x_0 = \frac{1}{K_1} \arctg\left(\frac{1}{q_1 \text{tg}(K_1 l_{H1})}\right) = -2,043 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Отрицательный результат говорит о том, что узловое сечение проходит не через пьезокерамические пластины, а через рабочую накладку.

Общая длина преобразователя:

$$L = l_{H1} + l + l_{H2} =$$

$$= 0,0014 + 0,0006 + 0,001 = 0,003 \text{ м.}$$

Литература

1. Физическая энциклопедия [Электронный ресурс]. – Минск 2009. – Режим доступа: http://femto.com.ua/articles/part_2/4341.html.
2. Extracorporeal Shock Waves Activate Migration, Proliferation and Inflammatory Pathways in Fibroblasts and Keratinocytes, and Improve Wound Healing in an Open-Label, Single-Arm Study in Patients with Therapy-Refractory Chronic Leg Ulcers / I. Aschermann [et al.] // Cell Physiol Biochem. – 2017. – Vol. 41, № 3. – P. 890–906.
3. Extracorporeal shock waves enhance normal broblast proliferation in vitro and activate mRNA expression for TGF-beta1 and for collagen types I and III // L. Berta [et al.] // Acta Orthop. – 2009. – Vol. 80, № 5. – P. 612–617.
4. Способ лечения остеохондроза при его клинических проявлениях: пат. RU 2163108 / Кучиев Т. Г. – Опубл. 20.02.2001.
5. Шелль, Я. Современные представления о фокусированной и радиальной терапии / Я. Шелль // Спортивная медицина. – 2013. – Т. 2013, № 1. – С. 3–6.
6. Шмагой, В. Л. Место ударно-волновой терапии в послеоперационной реабилитации пациентов с устройствами репаративного остеогенеза после переломов костей голени / В. Л. Шмагой, Р. Г. Родак, В. В. Карась // Медицина транспорта Украины. – 2014. – № 4. – С. 58–63.
7. Стимуляция регенерации периферического нерва: современное состояние, проблемы и перспективы / И. Н. Щаницын [и др.] // Успехи физиологических наук. – 2017. – Т. 48, № 3. – С. 92–112.
8. Щегольков, А. М. Ударно-волновая терапия в комплексном лечении и реабилитации больных ишемической болезнью сердца с рефрактерной стенокардией / А. М. Щегольков [и др.] // Вестник восстановительной медицины. – 2014. – № 6. – С. 69–75.
9. Новейший опыт применения терапии ударными волнами в различных областях медицины / А. Е. Семейский [и др.] // Доктор.Ру. – 2009. – № 7. – С. 32–40.
10. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов. [Электронный ресурс]. – Минск 2021. – Режим доступа: <http://helios.izmiran.rssi.ru/helioecology/titles/freq/freq.html>.