

## **ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С ТЕЛАМИ И ОРГАНАМИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ**

**Г. И. СОКОЛ, Т. Л. САВЧУК**

*Днепропетровский национальный университет,  
физико-технический факультет, кафедра технической механики  
49050 г. Днепропетровск - 10, ГСП, пр Гагарина, 72.  
Раб. тел (056) 373-12-60. E-mail: gsokol@ukr.net*

Предложен новый критерий степени воспаления тканей в живых организмах и метод диагностики заболевания на основе знания напряжения в тканях органов и тел. Критерий находится на основе метода определения напряжения в тканях живых организмов по температуре в поле акустической волны.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Известны наблюдения французского физика Поля Ланжевена, на основе которых появились сведения о том, что ультразвуковые волны могут проникать сквозь мягкие ткани человеческого организма [1]. Это привело к тому, что с начала 1930-х гг. возник большой интерес к проблеме применения ультразвука для терапии различных заболеваний. Этот интерес не ослабевал и в дальнейшем, причем развитие медицинских приложений шло по самым различным направлениям; особенно широко ультразвук стал применяться в физиотерапии. Тем не менее, лишь сравнительно недавно стал намечаться истинно научный подход к анализу явлений, возникающих при взаимодействии ультразвукового излучения с биологической средой. С применением ультразвука в медицине связано множество разных аспектов. Однако, при этом физика явления должна включать следующие процессы: распространение звука в «биологической среде», такой как тело человека, взаимодействие звука с компонентами этой среды, изучение остаточных явлений в органах после действия акустического излучения, а также измерения и регистрацию акустических волн.

Широкое применение находит звуковизор при получении изображений в непрозрачных средах. Наиболее перспективное применение звуковизора - в приборах медицинской ультразвуковой диагностики, где он позволяет увидеть неоднородности в мягких тканях, невидимые в рентгеновских лучах из-за малой контрастности. Ярким примером есть полученная фотография изолированной бараньей почки с почечным камнем размером 2 мм, полученная при помощи звуковизора, работающего на частоте 4 МГц с интенсивностью  $10^{-2}$  Вт/см<sup>2</sup> [8]. Однако он не позволяет измерить температуру воспаленного участка какого-либо органа.

В [3] рассмотрены виды воздействий различных акустических полей (ультразвукового, инфразвукового) на организм человека. Преимущество направленного ультразвукового луча по сравнению с другими видами терапии состоит в том, что он действует избирательно на отдельную структуру, позволяет быстро нагреть строго определенную область. Степень физиологической реакции на прогревание зависит от большого числа факторов, включающих скорость увеличения и достигаемую температуру, время прогревания, размер прогреваемой зоны. Известно, что ультразвуковое излучение можно сделать узконаправленным. В таком виде его применяют в хирургии в качестве скальпеля [3].

В настоящее время моделирование отдельных органов человека проводятся многими исследователями. Например, модель колена человека состоит из надкостницы, суставных менисков, синовиальной жидкости, суставной сумки, соединительных тканей, внутримышечных рубцов, мышечных волокон, оболочки сухожилий и главных нервных стволов [1]. В данном моделировании не учитывается, как поведут себя эти ткани при волновом характере воздействия.

Считается, что наибольшую угрозу для человеческого организма представляют неслышимые инфразвуковые шумы и вибрации. Для инфразвука характерно малое поглощение в различных средах. При этом инфразвук является активным биологическим фактором, влияющим на протекание физиологических процессов в теле человека на всех уровнях элементов, его составляющих, от клетки до организма в целом [4].

В [4-6] приводятся сведения о механизме действия звуковой вибрации на биологические существа. Смертельный исход от воздействия вибрационными колебаниями наблюдался в экспериментах с насекомыми и животными. Определено, на какой частоте погибло насекомое определенной массы [5]. Скорость гибели животных повышалась с увеличением амплитуды колебаний. В серии экспериментов было показано, что смертельный исход от действия вибрации наступает в результате разрывов органов. Каждый орган обладает своей массой, своими динамическими свойствами, и в силу этого при вибрации тела насекомого и животного, как, впрочем, и человека, в той или иной области возникает явление резонанса. Так же действуют на живые организмы и акустические колебания. Поэтому актуальность выбранной темы сомнений не вызывает.

Целью настоящей работы является исследование взаимодействия акустических колебаний со структурами тел и органов живых организмов на основе известных соотношений между плотностью, давлением и температурой в акустической волне и напряжением в материалах деталей машин.

## **МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

В акустической волне по сравнению со средой (сплошной, однородной) характеристики поля претерпевают изменения по давлению, плотности, температуре. Предлагается метод исследования взаимодействия акустических колебаний со структурами тел и органов живых организмов на основе известных соотношений между плотностью, давлением и температурой в акустической волне и напряжением в материалах деталей машин. На рис. 1 показано применение этого метода для анализа напряжений по температуре в обшивке автомобиля.

При переносе метода на анализ напряжений в живых организмах предварительно необходимо создать физические и математические модели всего тела и отдельных органов этих организмов как акустических сред.

Известно [8], что проблема интерпретации взаимодействия акустического излучения с биологической средой существенно упрощается, если последнюю рассматривать не как твердое тело, а как жидкость. В такой среде нет сдвиговых волн, поэтому теория распространения волн проще, чем для твердого тела. В диапазоне ультразвуковых частот это предположение справедливо почти для всех тканей тела. Хотя имеются и исключения, например кость.

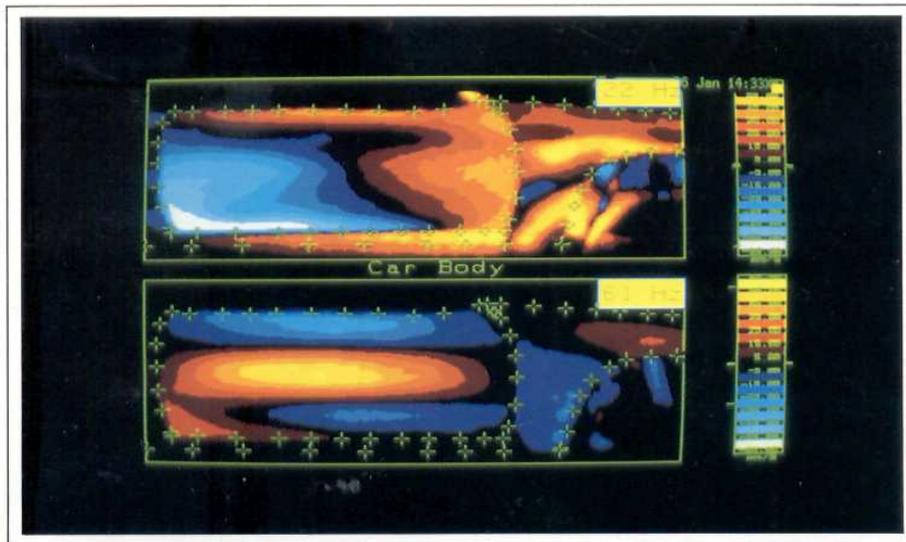


Рис. 1

Для глубокого анализа взаимодействия акустических волн с живыми структурами необходимо провести их физическое и механическое моделирование. Особым случаем является совпадение частот отдельных органов человека с некоторыми частотами акустических полей [4,7-9], когда проявляется явление резонанса. Чтобы глубоко исследовать резонансные взаимодействия необходимо знание акустомеханических свойств компонент, формирующих мышечную ткань органов человека.

Рассматриваем вариант, когда тело не колеблется как целое. В первом приближении считаем, что помещенное в акустическое поле тело человека представляет собой некую оболочку, заполненную однородной жидкостью. Это предположение сделано исходя из того, что человеческое тело состоит на 60% из воды, 34% приходится на органические вещества и 6% - на неорганические [10].

Поместим тело человека в акустическое поле с плоским фронтом волны. В акустической волне по сравнению со средой (сплошной, однородной) характеристики поля претерпевают изменения по давлению  $p$ , плотности  $\rho$ , температуре  $T$ . Оболочка тела начинает колебаться с той же амплитудой и частотой, что и имеют акустические колебания в падающей на тело волне. Тогда оболочка служит вторичным источником акустических колебаний во внутренний объем тела.

Считаем, что колебания воздействуют на жидкость внутри оболочки, проходя ее без потерь, что характерно для акустических волн низкочастотного диапазона, например, инфразвуковых. Или можно принять, что оболочка – это вибратор, который генерирует колебания далее во внутреннюю среду. Частота колебаний тела внутри оболочки зависит от жесткости  $s$  и массы  $m$ , что необходимо учесть при моделировании акустического поля внутри тела. Определение жесткости различных механических систем широко описано в литературе [11]. Жесткости живых тканей отличаются от жесткостей неживых упругих механических тел и определение их представляет определенные трудности [5,9].

Поэтому предлагается эффект воздействия акустическими волнами на структуры тканей живых органов  $T$  и тел изучать на основе связи между температурой тканей органов и напряжением в этих тканях  $\sigma$ . Связь между этими величинами в поверхностной волне, распространяющейся по детали машины, установленной на вибростенде, описана в

[12]. Применим данные соотношения для описания связи между температурой и напряжением для тканей живых органов, по которым распространяется акустическая волна внутри тела. По величине температуры можно будет определить, какой из органов находится в воспаленном состоянии. Данный критерий будет характеризовать степень заболеваемости органа и позволит проводить медицинскую диагностику заболевания.

Методика основана на измерении термоупругих эффектов, исследованных лордом Кельвином в 1853 году [12]. В упругой области, тело подвергается действию растягивающих или сжимающих напряжений. При этом происходит обратимое преобразование между механической и тепловой формами энергий. При условии, что сохраняются адиабатические условия, отношения между обратимым изменением температуры и соответствующим изменением сумм главных напряжений являются линейными и не зависят от нагрузки и частоты и описываются уравнением

$$\theta = -K_m T \sigma ,$$

где  $\theta$  - амплитуда колебаний температуры,  $K_m$  - термоупругая постоянная,  $T$  - средняя температура структуры,  $\sigma$  - изменение суммы главных напряжений. Термоупругая константа материала может быть выражена как

$$K_m = \frac{\alpha}{\rho C_\sigma} ,$$

где  $\alpha$  - коэффициент линейного теплового расширения,  $\rho$  - плотность,  $C_\sigma$  - коэффициент удельной теплоемкости при постоянном напряжении.

Измерение температуры производят тензорезисторами. Изменение суммы главных напряжений может быть определено теоретически, на основе известных свойств материалов из соотношения

$$\sigma = \frac{-\rho C_\sigma D V}{\alpha T e} , \quad (1)$$

где  $V$  - сигнал,  $D$  - фактор волны калибровки (известный для каждого тензорезистора),  $e$  - эффективность инфракрасного излучения.

Соотношение (1) позволяет выяснить напряжения в тканях различных органов и определить их реакцию на воздействие акустическим полем по температуре.

Известно, что температура всего тела человека имеет различное значение в один и тот же момент времени в разных его частях. Поэтому при взаимодействии акустических колебаний с тканями различных органов температура будет иметь различное значение. По величине температуры можно будет определить, какой из органов находится в воспаленном состоянии. Данный критерий будет характеризовать степень заболеваемости органа и позволит проводить медицинскую диагностику заболевания.

## ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены виды воздействий различных акустических полей (ультразвукового, инфразвукового) на организм человека.

2. Предложен метод определения напряжения в тканях живых организмов по температуре в поле акустической волны.

3. Предложен новый критерий степени воспаления тканей в живых организмах и метод диагностики заболевания на основе знания напряжения в тканях органов и тел.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Хилл К. Применение ультразвука в медицине. Физические основы / <http://bookinist.net/books/bookind-118011.html>
2. Ультразвук, малая энциклопедия /под ред. И.П. Голяминой. – М.: Советская энциклопедия, 1979. – 400с.
3. Ультразвуковая сварка костей и резка живых биологических тканей. – М.: Медицина, 1973. – 145с.
4. Сокол Г.И. Особенности инфразвуковых процессов в инфразвуковом диапазоне частот. – Д.: Промінь, 2000. – 136 с. ISBN 966 – 10 – 10 – 0.
5. Сокол, Г.И. Вибрационные технологии в определении жесткости и резонансной частоты тел насекомых / Г.И. Сокол, О.М. Дуплищева // Вібрації в техніці та технологіях. – 2007. – №1(46). – С. 20-24. ISBN 5 – 77 – 63 – 9123.
6. Романов С.Н. "Биологическое действие вибрации и звука" – Л.: Наука, 1991. – 210 с.
7. Кошиць Ю.Ш. Електронна концепція боротьби з гризунами і захист об'єктів соціально-цивільної виробничої сфери при проектуванні і будівництві. / О.Г. Лейко, О.Ф. Омельченко, Ю.О. Федоренко // Будівництво України, 1999. – № 1. – С. 30-31.
8. Сокол Г.И., Тучина У.Н., Рыбалка Т.А. Использование электромеханических аналогий при моделировании резонансных механических систем / Вісник Дніпропетровського університету. Сер. Ракетно-космічна техніка. - 2009. – Вип. 13, т. 2. – т. 17, № 4. – С. 74-81. ISSN 9125 – 0912).
9. Сокол Г.И., Дуплищева О.М., Рыбалка Т.А. О воздействии звуковых и инфразвуковых акустических колебаний на живые организмы / Екологія та ноосфера. – 2009. – т.20, № 3-4. – С. 15 – 25. ISSN 1726 – 1112.
10. Кукушкин Ю.Н. Химические элементы в организме человека / Статьи Соросовского Образовательного журнала. – 1998, [http://www.alhimik.ru/kunst/man's\\_elem.html](http://www.alhimik.ru/kunst/man's_elem.html)
11. Сапожков М.А. Электроакустика. – М.: Связь, 1978. – 272 с.
12. Spate 8000. Stress analyzer. / Ometron. – 380 Hertondon Parkway, Suite 300, Virdginia, USA.