

который позволяет оператору переводить источник ионизирующего излучения в рабочее положение одной рукой, а замок механизма спроектирован так, чтобы автоматически отключить прибор при вибрации, например при падении. Это повышает уровень безопас-

ности для оператора. Так же следует отметить, что поворотный тип механизма не увеличивает габариты исполнительного блока, что важно для портативных приборов.

#### Литература

1. Technical data on nucleonic gauges IAEA, Vienna, 2005
2. Кормильцин, Г.С. Основы диагностики и ремонта химического оборудования : учеб. пособие / Г.С. Кормильцин. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2007. – 120 с.
3. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98 Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97): затверджено наказом МОЗ України від 14.07.1997 р. № 208; введено в дію постановою Головного державного санітарного лікаря України від 01.12.1997 р. № 62.
4. ISO 3999-1:2000 (E). Radiation protection – Apparatus for industrial gamma radiography. First edition 2000-04-15.
5. Санитарные правила устройства и эксплуатации радиоизотопных приборов. – М: Атомиздат. 1980. – 16 с.
6. ГОСТ 18324-73 Блоки источников ионизирующих излучений для релейных радиоизотопных приборов. Общие технические условия. – М: Издательство стандартов – 1981. – 18 с.
7. Устройство для анализа скрытых пустот «Рось 4». Руководство по эксплуатации ИЮКГ.6К.00.00.000 РЭ
8. Патент USA № 5068883. Hand-held contraband detector. /Daniel DeNaam., заявитель и патентообладатель Science Applications International Corporation. - №522274, заявл. 11.05.1990; опубл. 26.11.1991
9. Устройство поиска неоднородностей плотности вещества УПН - РМ1401М-П. Руководство по эксплуатации
10. Детектор скрытых пустот «Рось 4М». Руководство по эксплуатации ИЮКГ8Н.00.00.000 РЭ-ЛУ
11. Защита источников ионизирующего излучения для радиоизотопных приборов / Литвин В.П. // Вісник СНУ ім. Даля. – Луганськ, 2011. - №3 (157) / 2011. - С. 154-158.
12. Патент Украины №81863 Пристрій для захисту ізотопу в радіометричних приладах / Литвин В.П., Бігвава В.А.; заявник та патентовласник Науково – дослідний та проектно – конструкторський інститут «Іскра», м. Луганськ. - №а 2006 07746, заявл. 10.07.2006; опубл. 10.01.2008, Бюл. №1.

*Отримані аналітичні формули для розрахунків коливальної швидкості й надлишкового тиску, що виникають у крию – консервуючому середовищі, у результаті дифракції акустичної хвилі на біологічному об'єкті*

*Ключові слова: в'язкість, потенціал, акустика*

*Получены аналитические формулы для расчета колебательной скорости и избыточного давления, возникающие в крию – консервирующей среде в результате дифракции акустической волны на биологическом объекте*

*Ключевые слова: вязкость, потенциал, акустика*

*Analytical formulas for calculation of oscillatory speed and the superfluous pressure, arising in cryo – the preserving environment as a result of diffraction of an acoustic wave on biological object are received*

*Key words: viscosity, potential, acoustics*

УДК 614.89:537.868

## РАСЧЕТ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ И ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ГРАНИЦЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

**Н. П. Кунденко**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра Интегрированные электротехнологические процессы

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко

ул. Артема, 44, м. Харків, 61002

Контактный телефон: 712-28-33, 067-743-77-76

E-mail: n.p.kundenko@inbox.ru

**1. Введение**

Как известно [4], при моделировании процесса массопереноса частиц крио – консервирующей среды к поверхности биологического объекта решающую роль играют скорости микропотоков, возникающих при наличии звуковой волны. Одним из определяющих факторов при определении скорости микропотоков является колебательная скорость частиц среды в окрестности граничной поверхности биологического объекта. Однако, на практике геометрические размеры биологического объекта могут быть значительно (на несколько порядков) меньше длины звуковой волны. В качестве крио-консервирующей среды рассматривается сплошная среда с заданными значениями плотности, скорости звука и вязкости. Биологические объекты моделируются геометрическими телами в виде шара и эллипсоида вращения (вытянутой сфероид). На поверхностях этих тел ставится граничное условие: равенство нулю, суммы давления возбуждающей звуковой волны и избыточного давления, возникающего в результате дифракции звуковой волны на биологическом объекте. Процесс воздействия звуковой волны на биологический объект описывается краевой задачей линейной акустики.

**2. Методика исследований**

Основой для их получения является система уравнений для потенциала колебательной скорости. Далее, будем рассматривать: шар. Параметрические уравнения, описывающие граничную поверхность биологического объекта, в этом случае имеет вид

шар -  
 $x = R \sin \tau \cos \varphi,$   
 $y = R \sin \tau \sin \varphi,$   
 $z = R \cos \tau, \tau \in [0, \pi], \varphi \in [-\pi, \pi],$

где R - радиус шара

Потенциальную функцию  $U_s$  колебательной скорости можно представить в виде

$$U^s(x, y, z) = \int_0^\pi d\tau \int_{-\pi}^\pi \rho(\tau) \sqrt{\dot{\rho}^2(\tau) + \dot{z}^2(\tau)} \cdot \psi(\tau, \varphi) G(kR(\tau, \varphi, x, y, z)) \quad (1)$$

где

$$R(\tau, \varphi, x, y, z) = \left[ (\rho(\tau) \cos \varphi - x)^2 + (\rho(\tau) \sin \varphi - y)^2 + (z - z(\tau))^2 \right]^{1/2}$$

Параметрические функции  $z(\tau)$  и  $\rho(\tau)$  определяются по следующим формулам

$$\rho(\tau) = \begin{cases} R \sin \tau & \text{- шар,} \\ r(\tau) \cos \tau & \text{- эллипсоидальный сфероид,} \end{cases} \quad (2)$$

$$z(\tau) = \begin{cases} R \cos \tau & \text{- шар,} \\ r(\tau) \sin \tau & \text{- эллипсоидальный сфероид,} \end{cases} \quad (3)$$

Функция  $\Psi(\tau, \varphi)$  выражается следующим образом

$$\Psi(\tau, \varphi) = - \frac{X(\tau, \varphi)}{\eta(\tau) \ell(\tau)} \quad (4)$$

Здесь

$$\eta(\tau) = \sqrt{\rho(\tau) / \sin \tau}, \quad (5)$$

$$\ell(\tau) = (\dot{z}^2(\tau) + \dot{\rho}^2(\tau))^{1/2}$$

Подставляя (4) в (1) получаем

$$U^s(x, y, z) = - \int_0^\pi d\tau \int_{-\pi}^\pi \sqrt{\rho(\tau) \sin \tau} \cdot X(\tau, \varphi) G(kR(\tau, \varphi, x, y, z)) d\varphi \quad (6)$$

Функция  $X(\tau, \varphi)$  может быть представлена в следующем виде

$$X(\tau, \varphi) = \sum_{m=-\infty}^{+\infty} e^{im\varphi} \sum_{n=|m|} X_n^m \bar{P}_n^{|m|}(\cos \tau), \quad (7)$$

где коэффициенты  $X_n^m$  выражаются как

$$X_n^m = (n + 0.5)^{1/2} y_n^m \quad (8)$$

Таким образом, согласно формулам (7) и (6) получаем значение потенциала колебательной скорости в любой точке крио – консервирующей среды вне биологического объекта. Подставим (7) в (6) и поменяем порядки суммирования и интегрирования. Тогда с учетом (8) будем иметь

$$U^s(x, y, z) = - \sum_{m=-\infty}^{+\infty} \sum_{n=|m|} (n + 0.5)^{1/2} y_n^m \int_0^\pi \int_{-\pi}^\pi \sqrt{\rho(\tau) \sin \tau} e^{im\varphi} \times P_n^{|m|}(\cos \tau) G(kR(\tau, \varphi, x, y, z)) d\tau d\varphi \quad (9)$$

Выражение (9) является основой для получения приближенных формул для колебательной скорости и избыточного давления в окрестности биологического объекта.

Будем предполагать, что длина возбуждающей звуковой волны значительно (на порядок) превосходит максимальный геометрический размер биологического объекта. Ограничиваясь нулевым приближением, получаем

$$y_n^m = (n + 0.5)^{1/2} U_n^m \quad (10)$$

Здесь

$$U_n^m = -2 \int_0^\pi P_n^{|m|}(\cos \tau) \sqrt{\rho(\tau) \sin \tau} U_m(\tau) d\tau \quad (11)$$

$$U_m(\tau) = A \int_{-\pi}^\pi e^{ikz(\tau)} e^{-im\varphi} d\varphi \quad (12)$$

где  $A$  - амплитуда возбуждающей звуковой волны с потенциалом скоростей  $U^i = A e^{ikz}$ .

Легко видеть, что из (12) следует

$$U_m(\tau) = 2\pi A \begin{cases} 0, & m \neq 0, \\ e^{ikz(\tau)}, & m = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Тогда согласно (11) имеем

$$U_n^0 = -4\pi A \int_0^\pi e^{ikz(\tau)} \bar{P}_n^0(\cos \tau) \sqrt{\rho(\tau) \sin \tau} d\tau \quad (14)$$

С учетом выше изложенного, формула (9) примет вид

$$U^s = - \sum_{n=0}^{\infty} (n+0.5)^{1/2} U_n^0 \int_0^\pi \sqrt{\rho(\tau) \sin \tau} \bar{P}_n^0(\cos \tau) d\tau \times \int_{-\pi}^\pi G(kR(\tau, \phi, x, y, z)) d\phi \quad (15)$$

Теперь рассмотрим случай биологического объекта в виде шара (модель эмбриона). Воспользуемся известным представлением [3]

$$e^{ikR \cos \tau} = 2 \sum_{m=0}^{\infty} (m+0.5)^{1/2} \Psi_m(kR) \bar{P}_m^0(\cos \tau) \quad (16)$$

где  $\Psi_m(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2x}} J_{m+1/2}(x)$ ,  $J_{m+1/2}(x)$  - функ

ция Бесселя первого рода  $(m+1/2)$ -го порядка.

После ряда элементарных преобразований получаем следующее выражение для потенциала колебательной скорости

$$U^s(r, \Theta) = -2A \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(m+0.5)^{1/2} \phi_m(kR)}{\phi_m(kR)} \phi_m(kr) \bar{P}_m^0(\cos \Theta) \quad (17)$$

Здесь

$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$ ,  $\Theta = \arccos\left(\frac{z}{r}\right)$ ,  $r, \Theta, \phi$  - сферические координаты с началом координат совпадающие с центром эмбриона,

$\phi_m(x) = \sqrt{\frac{\pi}{2x}} H_{m+1/2}^{(1)}(x)$ ,  $H_{m+1/2}^{(1)}(x)$  - функция

Ханкеля  $(m+0.5)$ -го порядка.

Для дальнейшего упрощения (17), воспользуемся асимптотическими разложениями для функций  $\phi_m(kR)$  и  $\psi_m(kR)$  при  $kR \gg 0$ , которые имеют вид [2]

$$\psi_0(kR) \cong 1 - \frac{(kR)^2}{6}, \quad \psi_0'(kR) \cong \frac{kR}{3}, \quad (18)$$

$$\phi_0(kR) \cong \frac{i}{kR}$$

$$\phi_1(kR) \cong \frac{i}{(kR)^2}, \quad (18)$$

Подставляя (18) в (17) и ограничиваясь нулевым приближением (член ряда в (17) с индексом  $m=0$ ) получаем

$$U^s(r, \Theta) \cong -A \frac{R}{r} e^{ikr}. \quad (19)$$

Эта формула справедлива с точностью до членов порядка  $(kR)^3$ .

Преобразуем выражение (19). Волновое число можно представить в виде

$$k = k_0 + i \frac{\gamma}{2c_0}, \quad (20)$$

где  $k_0 = \omega/c_0$ ,  $\gamma$  - коэффициент поглощения крио-

консервирующей среды,  $c_0$  - скорость звука в крио-консервирующей среде.

Умножим (19) на временной множитель  $\exp(-i\omega t)$ , тогда с учетом (20) получаем приближенное выражения для реального значения потенциала  $U^s$  колебательной скорости

$$U^s = - \frac{A e^{-\alpha r} R}{r} \cos(k_0 r - \omega t). \quad (21)$$

Здесь  $\alpha$  - коэффициент затухания, который согласно [1] имеет вид

$$\alpha = \frac{8\pi^2 f \eta}{3c_0^3 \rho_0}, \quad (22)$$

где  $f$  - частота возбуждающей звуковой волны ( $\omega=2\pi f$ ),  $\rho_0$  и  $\eta$  - соответственно плотность и динамическая вязкость крио-консервирующей среды. После ряда элементарных преобразований получаем выражение для расчета избыточного давления

$$P - P_0 = \frac{RA}{r} e^{-\alpha r} \begin{bmatrix} -\omega \sin(k_0 r - \omega t) + \\ + \gamma \sin(k_0 r - \omega t) \end{bmatrix}, \quad (23)$$

где  $P_0$  давление в невозмущенной среде. Колебательная скорость, имеет вид

$$\vec{V} = \frac{1}{\rho_0} \text{grad } U^s \quad (24)$$

В сферической системе координат связанной с эмбрионом, получаем из (24) с учетом (21)

$$V_\Theta = V_\phi = 0,$$

$$V_r = \frac{RA e^{-\alpha r}}{r \rho_0} \begin{bmatrix} \cos(k_0 r - \omega t) \left( \alpha + \frac{1}{r} \right) + \\ + k_0 \sin(k_0 r - \omega t) \end{bmatrix}, \quad (25)$$

$$r = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}.$$

Как видно из (25), в окрестности границы эмбриона только нормальная компонента скорости  $V_r$  отлична от нуля.

**3. Выводы**

С помощью моделирования процесса воздействия звуковой волны на крио – консервирующую среду, содержащую биологические объекты в низкочастотном приближении получены аналитические формулы для расчета колебательной скорости и избыточного дав-

ления, возникающие в крио – консервируемой среде в результате дифракции звуковой волны на биологическом объекте. Эти формулы являются основой для анализа процесса массопереноса частиц крио – консервирующей среды к поверхности биологических объектов при наличии акустических колебаний.

Литература

1. Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике [Текст] / Бергман Л. – М.: ИЛ, 1956. – 726 с.
2. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям. [Текст] /Абрамовиц М., Стиган И. – М.: Наука, 1979. – 830 с.
- 3 Морс Ф., Фешбах Г. Методы теоретической физики. [Текст] / Морс Ф., Фешбах Г.– М.: Мир, 1960, Т. 2. – 886 с.
4. Физика и техника мощного ультразвука. Физические основы ультразвуковой технологии. Под редакцией проф. Л.Д. Розенберга. [Текст] / Л.Д. Розенберг. – М.: Наука, 1970. – 687 с.

*Опрацьовано спосіб формування антикорозійних захисних покриттів. Досліджено їх ерозійну та корозійну стійкість. Розроблені покриття нанесені на робочі лопатки частини низького тиску парових турбін ТЕС. Термін експлуатації в умовах електростанцій більше 150 тис. годин*

*Ключові слова: теплоенергетичне обладнання, покриття, антикорозійне, властивості*

*Разработан способ формирования антикоррозионных защитных покрытий. Исследованы их эрозионная и коррозионная стойкости. Разработанные покрытия нанесены на рабочие лопатки части низкого давления паровых турбин ТЭС*

*Ключевые слова: теплоэнергетическое оборудование, покрытие, антикоррозионное, свойства*

*The way of formation of anticorrosive coatings is developed. Are investigated their erosive and corrosion resistance. The developed coverings are put on working blends to a part of low pressure of steam turbines TES*

*Key words: the heat power equipment, a covering, anticorrosive, properties*

УДК 669.056.9

# ПОКРИТТЯ ДЛЯ ЗАХИСТУ ЕЛЕМЕНТІВ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОГО УСТАТКУВАННЯ

**В. Г. Маринін**

Кандидат фізико-математичних наук, доцент,  
старший науковий співробітник  
Інститут фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій, відділ інтенсивних вакуумно-плазмових технологій  
Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»  
вул. Академічна, 1, м. Харків, Україна, 61108  
Контактний тел.: (057) 3356825  
E-mail: marinin@kipt.kharkov.ua

**1. Вступ**

Дані експлуатаційних спостережень на теплових і атомних електростанціях показали, що зниження коефіцієнта використання встановленої потужності енергоблоків, зменшення ефективності, надійності та економічності роботи станцій пов'язане, в першу чергу, з руйнуванням елементів обладнання завдяки дії механічного та хімічного чинників. Так, за причини

відмови обладнання 2-го контуру АЕС недовиробка електроенергії складає 22,9 % від загальної недовиробки [1]. В залежності від того, який із чинників домінує, має місце ерозія або корозія, а при одночасній їх дії – ерозійно-корозійний знос. Ерозія найчастіше обумовлена мікроударамі крапель води, наприклад, в лопатках останніх ступенів парових турбін, струменями потоків води в згинах трубопроводів та дією кавітації. Корозію обумовлюють домішки різних хімічних речо-