

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 України №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.

УДК 614.89:537.868

РАСЧЕТ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СКОРОСТИ И ЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТИ ГРАНИЦЫ БИОЛОГИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

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

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 (вытянутый 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

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

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

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, Θ, ϕ - 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 $k_0 = \omega/c_0$, γ - 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 α - 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 ($\omega=2\pi f$), ρ_0 и η - соответственно плотность и динамическая вязкость крио-консервирующей среды. После ряда элементарных преобразований получаем выражение для расчета избыточного давления

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

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)

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

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

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

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-