

УДК 621.301.

Н.П. КУНДЕНКО, канд. техн. наук, доц., ХНТУСХ им.П.Василенко, Харьков
А.Д. ЧЕРЕНКОВ, док. техн. наук, проф., ХНТУСХ им. П.Василенко, Харьков

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ДИФФУЗНОГО ПОТОКА К ПОВЕРХНОСТИ СФЕРОИДА, МОДЕЛИРУЮЩЕГО СПЕРМИЙ

Запропоновано використати ультразвукові коливання як засоби інтенсифікації процесу розчинення, з метою впливу на біологічні об'єкти.

Ключові слова: ультразвук, коливання, дифузія, кавітація.

Предложено использовать ультразвуковые колебания как средства интенсификации процесса растворения, для воздействия на биологические объекты.

Ключевые слова-ультразвук, колебания. диффузия, кавитации.

Proposed use of ultrasonic vibration as a means of intensifying the process of dissolution, for vozdeyviya on biological objects.

Keywords ultrasound vibrations. diffusion, cavitation

Постановка проблемы

Процессы замораживания и последующего отогрева могут оказывать сильное повреждающее действие на биологические объекты (спермии, эмбрионы и т.п.). В этой связи важной проблемой является всестороннее изучение возможностей увеличения криорезистивности биологических объектов и поиск способов дополнительной криозащиты их структур [1-3]. Наряду с совершенствованием таких традиционных подходов, как определение для каждого биологического объекта криозащитных сред и режимов криоконсервирования, изучаются возможности использования физических факторов, оказывающих обратимо модифицирующее воздействие на криолабильные структуры биологических систем. Одним из таких физических факторов является ультразвук низкой интенсивности. Если реакции биологических объектов на ультразвуковые колебания изучены хорошо на молекулярном, клеточном и тканевом уровнях [4,5], то возможности влияния ультразвуковых волн на биологические объекты, находящиеся в криоконсервирующей среде, изучены недостаточно хорошо.

Учитывая это, целесообразно исследовать возможные механизмы воздействия ультразвуковых волн с целью оптимизации условий низкотемпературного консервирования таких биологических объектов как сперма сельскохозяйственных животных. Это позволит повысить эффективность способов замораживания и отогрева биологических объектов (спермии, эмбрионы и т.п.) и выявить подходы к использованию ультразвуковых волн при криоконсервировании биологических объектов. Существенным вопросом при этом является возможность физико-математического описания взаимодействия ультразвуковых волн с криоконсервирующей средой, содержащей биологические объекты.

Наличие микротоков у поверхности биологического объекта существенным образом влияет на процесс диффузии частиц крио – консервирующей среды . Эти микротоки осуществляют перенос частиц крио – консервирующей среды к поверхности биологического объекта. Математическое описание процесса массопередачи может быть проведено в рамках диффузионной кинетики. Многочисленные экспериментальные результаты показывают, что процесс массопередачи определяется диффузией, возникающей вследствие наличия разности концентраций между слоем среды, непосредственно примыкающим к поверхности биологического объекта (эмбрион, спермий) и толщей среды.

Как следует из целого ряда экспериментов, поток частиц среды Q при наличии акустических волн возрастает. Согласно закона Фика , это возможно, только в том случае, если акустические волны могут увеличивать коэффициент молекулярной диффузии D или градиент концентрации $\frac{\partial q}{\partial \vec{n}}$ на поверхности

биологического объекта. Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что наличие акустических волн, воздействующих на крио – консервирующую среду, должно увеличивать градиент концентрации.

Основные материалы исследования

Рассмотрим биологический объект – спермий, моделируемый эллипсоидальным сфероидом. При наличии акустических колебаний вблизи граничной поверхности сфероида возникают микротоки, средняя скорость которых может быть представлена в виде

$$\bar{V}_{\xi 2} = - \frac{A_2 e^{-2\alpha c \xi}}{\xi^2 - \eta^2} + \frac{D_2}{\sqrt{(\xi^2 - \eta^2)(\xi^2 - 1)}}, \quad \bar{V}_{\eta 2} = \bar{V}_{\varphi 2} = 0, \quad (1)$$

где

$$A_2 = - \frac{A^2 B^2 k_0 (k_0^2 + \alpha^2)}{8 \rho_0^2 \omega c^2}, \quad (2)$$

$$B = \frac{4a}{2 + \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}} \ln \frac{b}{a + \sqrt{a^2 - b^2}}}, \quad (3)$$

а величина D_2 задается формулой. Здесь ξ, η, φ - сфероидальные координаты связанные со сфероидом.

Для дальнейшего нам понадобятся следующие представления дифференциальных операторов (\vec{V}_2, ∇) и Δ в сфероидальных координатах. Как известно, они имеют следующий вид

$$(\vec{V}_2, \nabla) \Phi = \frac{\bar{V}_{2\xi}}{\sqrt{q_{11}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} + \frac{\bar{V}_{\eta 2}}{\sqrt{q_{22}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \eta} + \frac{\bar{V}_{\varphi 2}}{\sqrt{q_{33}}} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi}, \quad (4)$$

$$\Delta \Phi = \frac{1}{\sqrt{q}} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{11}} \frac{\partial \Phi}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{22}} \frac{\partial \Phi}{\partial \eta} \right) + \frac{\partial}{\partial \varphi} \left(\frac{\sqrt{q}}{q_{33}} \frac{\partial \Phi}{\partial \varphi} \right) \right], \quad (5)$$

где

$$q_{11} = c^2 \frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}, \quad q_{22} = c^2 \frac{\xi^2 - \eta^2}{1 - \eta^2}, \quad q_{33} = c^2 (\xi^2 - 1) (1 - \eta^2), \quad (6)$$

$$q = q_{11} q_{22} q_{33} = c^6 (\xi^2 - \eta^2)^2.$$

Используя (4), (5) и учитывая (1), запишем уравнение конвективной диффузии в сфероидальных координатах

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - 1}{\xi^2 - \eta^2}} \frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{D}{c(\xi^2 - \eta^2)} \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left((1 - \eta^2) \frac{\partial q}{\partial \eta} \right) + \frac{\xi^2 - \eta^2}{(\xi^2 - 1)(1 - \eta^2)} \frac{\partial^2 q}{\partial \eta^2} \right]. \quad (7)$$

Как и в случае биологического объекта – эмбриона, можно предположить, что доминирующим членом в правой части (7) является член

$$\frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right).$$

Поэтому уравнение (7) можно заменить приближенным уравнением следующего вида

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{(\xi^2 - 1)(\xi^2 - \eta^2)} \frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{D}{c} \frac{\partial}{\partial \xi} \left((\xi^2 - 1) \frac{\partial q}{\partial \xi} \right). \quad (8)$$

Это уравнение является исходным для определения градиента концентрации.

Найдем решение уравнения (8). Введем новую неизвестную функцию

$U = \frac{\partial q}{\partial \xi}$. В терминах этой функции уравнения (8) запишется следующим образом

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{(\xi^2 - 1)(\xi^2 - \eta^2)} U = \frac{D}{c} \left[2\xi U + (\xi^2 - 1) \frac{\partial U}{\partial \xi} \right]. \quad (9)$$

Преобразуем (9) к следующему виду

$$\frac{\partial}{\partial \xi} (\ln U) = \frac{c \bar{V}_{\xi^2}}{D} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} - \frac{2\xi}{\xi^2 - 1}. \quad (10)$$

Интегрируя по переменной ξ левую и правую части в (10) получаем

$$\ln U = \frac{c}{D} \int \bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} d\xi - \ln(\xi^2 - 1). \quad (11)$$

Вычислим неопределенный интеграл в (11). С этой целью преобразуем подынтегральную функцию

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} = \frac{A_1 e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\eta^2}{\xi^2}\right) \left(1 - \frac{1}{\xi^2}\right)}} + D_2 \sqrt{\frac{1 - \frac{\eta^2}{\xi^2}}{1 - \frac{1}{\xi^2}}} \quad (12)$$

Поскольку переменная $\xi \geq \xi_0$ ($\xi = \xi_0$ - уравнение для граничной поверхности биологического объекта), а величина

$$\xi_0 = \frac{a}{\sqrt{a^2 - b^2}} \gg 1$$

и $|\eta| < 1$, то радикалы в (12) можно заменить их асимптотическими значениями. Тогда получим

$$\bar{V}_{\xi^2} \sqrt{\frac{\xi^2 - \eta^2}{\xi^2 - 1}} = \frac{A_1 e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} + D_2. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (11) имеем

$$\ln U \cong \frac{c A_1}{D} \int \frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} d\xi + \frac{c D_2}{D} \xi - \ln(\xi^2 - 1) \quad (14)$$

Интеграл в (14) может быть представлен в следующем виде

$$\int \frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi^2} d\xi = -\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} - 2\alpha Ei(-2\alpha\xi) + A_3, \quad (15)$$

где A_3 - произвольная постоянная величина.

$$A_3 = \frac{D}{c A_1} \ln q_1.$$

С учетом выше изложенного, получаем следующее выражение для градиента концентрации

$$\frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + 2\alpha Ei(-2\alpha\xi) \right) + \frac{c D_2}{D} \xi \right] \quad (16)$$

Если теперь воспользоваться асимптотическим представлением для интегральной показательной функции, то окончательно будем иметь

$$\frac{\partial q}{\partial \xi} = \frac{q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + \gamma + \ln(2\alpha\xi) \right) + \frac{c D_2}{D} \xi \right] \quad (17)$$

Получаем формулу для расчета плотности диффузного потока на поверхности биологического объекта

$$j = D \left. \frac{\partial q}{\partial \xi} \right|_{\xi=\xi_0} = \frac{D q_1^{D/c A_1}}{\xi^2 - 1} \exp \left[-\frac{c A_1}{D} \left(\frac{e^{-2\alpha\xi}}{\xi} + \gamma + \ln(2\alpha\xi) \right) - \frac{c D_2}{D} \xi_0 \right] \quad (18)$$

Выводы. Построена математическая модель процесса массопереноса частиц крио – консервирующей среды к поверхности биологического объекта при наличии акустических колебаний. Установлено, что при воздействии акустической волны на крио – консервирующую среду с биологическим объектом (эмбрион, спермий) вблизи граничной поверхности биологического объекта возникает пограничный слой частиц крио – консервирующей среды, толщина которого прямо-пропорциональна линейному размеру биологического объекта и обратно-пропорциональна квадратному корню из амплитуды акустической волны.

Список литературы: 1. Лаврик С.С. Консервирование костного мозга поливинилпирролидоном путём замораживания в жидком азоте. /С.С. Лаврик - Пробл. гематол. и перелив. крови, 1966, 2, с. 50-64. 2. Медведев П.М., Русанович Т.П. Процессы льдообразования и режимы охлаждения суспензии клеток крови и костного мозга. В кн.: Актуальные вопросы консервирования и трансплантации костного мозга и крови. /П.М. Медведев, Т.П. Русанович - Харьков.: АН УССР, 1972, с. 11-25. 3. Резниченко А.А. Изменение свойств катализа эритроцитов крови человека под влияние ультразвука разных параметров. В

кн.: Ультразвук в физиологии и медицине: / А.А. Резниченко Тез. докл. научн. конф., Ростов-на-Дону, 1972, 1, с. 68-69.4. Аконян В.Б. Закономерности биологического действия ультразвука низких интенсивностей.: / В. Б. Аконян.-Автореф. дис. д-ра биол. наук. – М., 1982, 32 с.5. Аконян В.Б., Сарвазян А.П. Исследование механизмов действия ультразвука на биологические среды и объекты. .: / В. Б. Аконян, А.П. Сарвазян-Акустический журнал, 1979, т. 25, в. 3, с. 462-463.

Поступило в редколлегию 15.02.2012

УДК 621.315.592

А.В. ФРОЛОВ, канд.техн.наук, ХНУРЭ, Харьков

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗНЫХ ОЦЕНОК ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Досліджена можливість реалізації прогностичних оцінок вихідних характеристик кремнієвих монокристалічних фотоперетворювачів на основі дискретної кореляційної обробки їх основних параметрів для малої партії зразків.

Ключові слова: кореляція, фотоперетворювач, прогностичні оцінки, критерій Стьюдента, довірчий інтервал.

Исследована возможность реализации прогностических оценок выходных характеристик кремниевых монокристаллических фотопреобразователей на основе дискретной корреляционной обработки основных параметров для малой партии образцов.

Ключевые слова: корреляция, фотопреобразователь, прогностические оценки, критерий Стьюдента, доверительный интервал.

The possibility of prognostic score realization output characteristics of single-crystal silicon photoconverters on the basis of discrete correlation analysis of the main parameters of a small number of samples has been investigated.

Keywords: correlation, photoconverter, prognostic score, Student criteria, confidence interval.

1. Введение

Для оперативного управления и отладки технологического процесса после обновления и совершенствования базовой технологии производства кремниевых фотопреобразователей (ФП) с целью оперативного прогнозирования качества изделий необходимо располагать информацией о влиянии базовых и фотоэлектрических параметров на КПД фотоприбора.

Для решения этой задачи по результатам экспресс-контроля указанных параметров в пределах малой партии экспериментальных образцов исследуем возможности корреляционного анализа для оценки влияния базовых контролируемых параметров на КПД ФП.

2. Основная часть

Для непрерывных случайных переменных $x(t)$ и $y(t)$ используется взаимно-корреляционная функция $K_{xy}(\tau)$, которая определяется формулой

$$K_{xy}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^T x(t)y(t + \tau)dt. \quad (1)$$