

пройшов через шлунково-кишковий тракт, переробленого і засвоєного, що дасть можливість збільшити виробництво молока. Підготовка кормів до згодовування повинна проводитися з врахуванням вимог даної технології і корма повинні мати температуру не менше 20-22°C. Не дотримання вимог даної технології приводить до зайвих енерговитрат у корови на пережовування кормів, нагрівання, розщеплювання, засвоєння, що приводить до втрати продуктивності тварини.

**Список літератури:** 1. Методические рекомендации по организации подготовки нетелей к лактации, отбора, раздоя и оценки первотелок на специализированных фермах и комплексах по производству молока – М.: ВАСХНИЛ, 1985. -53 с. 2. Пат. 17977 Україна Вакуумно-вібраційний доїльний апарат / Грідасов О.В., Бойко І.Г., Науменко О.А., Петрушка Є.З., Грідасов В.І., Малахова К.С., опубл. 16.10.2006 р. 3. Пат. 20997 Україна Спосіб доїння корів / Грідасов О.В., Бойко І.Г., Науменко О.А., Петрушка Є.З., Грідасов В.І., опубл. 15.02.2007 р. 4. Пат. 64539 Україна Спосіб одержання за одне народження двох або більше телят від однієї корови / Грідасов О.В., Васюренко Л.В., Вачюренко Д.Є., Грідасов В.І., опубл. 10.11.2011 р. 5. Пат. 66682 Спосіб одержання від корови за одне народження двох або більше телят заданої статі / Грідасов О.В., Васюренко Л.В., Васюренко Д.Є., Грідасов В.І., Тимченко Н.М., опубл. 10.01.2012 р. 6. Біологічне обґрунтування можливості регулювання відтворення ВРХ / О.В. Грідасов [та ін.] // Проблеми зооінженерії та ветеринарної медицини – 2011. – Вип. 23, ч.2, т.2. – С.435-438.

*Поступила в редколлегию 02.04.2012*

**УДК 621.301.**

**Н.П. КУНДЕНКО**, канд. техн. наук, доц., ХНТУСХ им. П.Васленко. Харьков  
**А.Д. ЧЕРЕНКОВ** док. техн. наук., проф ХНТУСХ им. П.Васленко. 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 микропотоков у поверхности биологического объекта существенным образом влияет на процесс диффузии частиц крио – консервирующей среды. Эти микропотоки 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  $\frac{\partial q}{\partial n}$  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 микропотоки, 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

$$A_2 = - \frac{A^2 B^2 k_0 (\xi_0^2 + \alpha^2)}{8 \rho_0^2 \omega c^2}, \quad (2)$$

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

а величина  $D_2$  задается формулой. Здесь  $\xi, \eta, \varphi$  - сфероидальные координаты связанные со сфероидом.

Для дальнейшего нам понадобятся следующие представления дифференциальных операторов  $\bar{\nabla}_2, \nabla$  и  $\Delta$  в сфероидальных координатах. Как известно, они имеют следующий вид

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

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

где

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

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

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

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

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  $\xi$  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 подинтегральную 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

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

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

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

**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.

Поступила в редколлегию 08.04.2012

УДК 632.935.4

**М. С. СОРОКИН**, канд.техн.наук, ХНТУСХ им.П. Василенко, Харьков,  
**А.Д. ЧЕРЕНКОВ**, докт.техн.наук,проф., ХНТУСХ им.П. Василенко, Харьков

## АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ ЖИВОТНОВОДСТВА

В статье рассмотрены проблемы связанные с использованием импульсных генераторов КВЧ диапазона применяемых для воздействия на микробиологические объекты животноводства.

**Ключевые слова:** импульсный генератор, лавино-пролетный диод, микробиологические объекты.

У статті розглянуті проблеми пов'язані з використанням імпульсних генераторів КВЧ діапазону які використовуються для дії на микробиологічні об'єкти тваринництва.

**Ключові слова:** імпульсний генератор, лавіно-прольотний діод, микробиологічні об'єкти.

In the article is problems connected with use of the EHF pulse generators of a range applied to impact on microbiological objects of animal husbandry are considered.

**Keywords:** pulse generator, IMPact ionization Avalanche Transit-Time diode, microbiological objects.