

УДК 631.371

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МОНОХРОМАТИЧЕСКОЙ ЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ С БИОЛОГИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ В КРИОКОНСЕРВИРУЮЩЕЙ СРЕДЕ

*Ю.М. Федюшко, доктор технических наук
Таврический государственный агротехнологический университет*

Получены аналитические выражения для расчета колебательной скорости и давления, которые возникают в криоконсервирующей среде при дифракции акустической волны в биологическом объекте.

Биологический объект, диэлектрические свойства, акустика.

Широкое использование метода искусственного осеменения в животноводстве во многом определяется эффективностью криоконсервации спермиев в жидком азоте.

Несмотря на то, что вопросу криоконсервации спермиев животных уделено достаточно большое внимание, всё же главной проблемой остаётся снижение биологически полноценных спермиев в процессе криообработки [1]. Уже на стадии охлаждения возникают конформационные изменения липопротеидных комплексов биомембран, которые в дальнейшем усиливаются при кристаллизации и деконсервации, и проявляются появлением трансмембранных дефектов [2].

Они вызывают нарушение проницаемости мембран, целого комплекса биохимических изменений, что приводит к снижению биологической полноценности спермиев и даже их гибель.

Проведенный анализ показывает, что повышение эффективности искусственного осеменения животных может быть связано со следующими мерами [1, 3]:

- в применении более современной технологии консервации спермы на племенных предприятиях, позволяющих получать от взрослого быка не 19 тысяч спермодоз, а 60 – 100 тыс. спермодоз в год;
- в применении более совершенных технологий деконсервации спермы, позволяющих увеличить выход активных спермиев в дозе на 20 – 25%;
- в использовании mano- и ректоцервикального методов искусственного осеменения коров и телок, позволяющих затрачивать не 4 – 5 спермодоз на оплодотворение, а 2 – 2,5 спермодозы ;
- сохранение оплодотворяющей способности спермы на высоком уровне независимо от срока ее хранения и при использовании для осеменения даже 3 – 5 млн. активных спермиев в дозе;
- сохранение высокого санитарного уровня биологических и технологических параметров законсервированной спермы независимо от срока хранения и санитарного уровня окружающей среды.

Однако, выполнение этих требований возможно только при полном переходе племенных предприятий на работу по более совершенным технологиям как криоконсервации спермы, так и искусственному осеменению.

Ни одна из известных технологий замораживания спермы: в пайеттах (Франция); в ампулах и соломинах (США); в минитюбах (Германия); в открытых гранулах (Германия) и их варианты не обеспечивают перечисленных требований [3,4].

Цель исследований – разработка основных функциональных параметров систем синтеза частот и давления, дистанционного измерения диэлектрических параметров биологических объектов, обоснование и определение основных ТТХ генераторов частоты, которые могли бы обеспечить их работу в широком частотном диапазоне.

Материал и методика исследований. В качестве криоконсервирующей 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. Для решения этой задачи используются аналитические выражения для колебательной скорости и избыточного давления в окрестности границы биологического объекта.

Результаты исследований. Пусть криоконсервирующая жидкость моделируется однородной изотропной средой с плотностью ρ_0 , скоростью распространения звука c_0 и коэффициентом поглощения γ . Как известно [5], коэффициент поглощения γ связан с динамической вязкостью η по формуле:

$$\gamma = \frac{16 \pi^2 f^2 \eta}{3 c_0^2 \rho_0}, \quad (1)$$

где f – частота звуковой волны, c_0 – скорость звука, ρ_0 – плотность.

В линейном приближении [5], для определения волнового движения достаточно найти потенциал колебательной скорости $U = U(p, t)$ (p – точка с координатами x, y, z , t – время). С помощью потенциала $U(p, t)$ поле колебательной скорости выражается в виде:

$$\vec{V}(p, t) = \frac{1}{\rho_0} \text{grad } U, \quad (2)$$

а давление p в виде:

$$p - p_0 = - \frac{\partial U}{\partial t} - \gamma U, \quad (3)$$

где p_0 – давление в невозмущенной среде.

В линейной акустике [5], потенциал скоростей U удовлетворяет диссипативному волновому уравнению:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} + \gamma \frac{\partial U}{\partial t} - c_0^2 \Delta U = 0. \quad (4)$$

Если предположить, что потенциал скоростей $U(p, t)$ гармонически зависит от времени, следовательно:

$$U(p, t) = U(p) e^{-i\omega t}, \quad (5)$$

где $\omega = 2\pi f$ – круговая частота.

В этом случае, зависящая от пространственных переменных амплитуда $U(p)$ должна удовлетворять уравнению Гельмгольца [6]:

$$\Delta U + k^2 U = 0. \quad (6)$$

При этом волновое число k имеет вид:

$$k^2 = \omega(\omega + i\gamma) / c_0^2. \quad (7)$$

Причем выбираем знак у k так, чтобы выполнялось условие [6]:

$$\text{Im}(k) \geq 0. \quad (8)$$

Таким образом, математическое описание процесса взаимодействия монохроматической звуковой волны, распространяющейся в криоконсервирующей среде с биологическим объектом, приводит к краевым задачам для уравнения Гельмгольца (6). На границе биологического объекта необходимо задавать величину $U(p)$, что физически соответствует заданию давления звуковой волны (3).

Выводы

С помощью моделирования процесса воздействия звуковой волны на криоконсервирующую среду, содержащую биообъекты, получены аналитические выражения для расчета колебательной скорости и избыточного давления, возникающего при дифракции звуковой волны на биологическом объекте. Полученные результаты исследований могут быть использованы для анализа массопереноса частиц криоконсервирующей среды при наличии колебаний и положены в основу разработки генераторов частоты широкого частотного диапазона.

Список литературы

1. Осташко Ф.И. Биотехнология воспроизводства крупного рогатого скота / Ф.И. Осташко. – К.: Аграрна Наука, 1995. – 172с.
2. Сорокин М.С. Импульсная электромагнитная технология и технические системы повышения воспроизводства животных: дис., канд. техн. наук: 05.11.17/ М. С. Сорокин. – Харьков: – 2010. – 155с.
3. Наук В.А. Структура и функция спермиев сельскохозяйственных животных при криоконсервации / В.А. Наук. – Кишинев: Штинца, 1991. – 197с.
4. Кунденко Н.П. Исследования криоконсервации микрообъектов крупного рогатого скота / Н.П. Кунденко // Вісник національного технічного університету "ХПІ". – 2011. – Вип. 34/202. – С. 156 – 160.
5. Нефедов Е.Н. Взаимодействие физических полей с живым существом / Е.Н. Нефедов, А.А. Протопопов и др. – Тула: Тул ГУ, 1995. – 231с.
6. Акопян В.Б. Исследование механизмов действия ультразвука на биологические среды и объекты / В.Б. Акопян, А.П. Сарвазян // Акустический журнал. – 1979. – Т. 25. – С. 462 – 463.

Отримані аналітичні вирази для розрахунку швидкості коливань й тиску, які виникають у криоконсервуючому середовищі при дифракції акустичної хвилі на біологічному об'єкті.

Біологічний об'єкт, діелектричні властивості, акустика.

Analytical expressions for the calculation of swaying speed and pressures which arise up in a krio konserviruyushey environment at diffraction of acoustic wave in a biological object are got.

Biological object, dielectric properties, acoustics.