

2. Для настройки высокочастотного устройства для работы в режиме детектора необходимо проведение экспериментальных исследований.

#### Список использованных источников

1. Кирсанов, В.В., Милешина, О.В. Способы и технические средства определения ранней диагностики мастита у коров и отделения аномального молока в потоке при доении на доильных установках//Вестник ВНИТИМЖ – 2020. – № 2. – С. 44–48.

2. Бактериальный мастит у коров /А.И. Краевский, М.В. Рубленко, Г.П. Дюльгер и др. – Сумы: «Сумской национальной аграрный университет», 2014. – 215 с.

3. Импедансная спектроскопия: теория и применение : учеб. пособие / [Ю.В. Емельянова, М.В. Морозова, З.А. Михайловская, Е.С. Буянова ; под общ. ред. Е. С. Буяновой] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 156 с.

**Крылова Н.Г., к.ф.-м.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент  
УО «Белорусский государственный аграрный технический  
университет», Минск, Республика Беларусь**  
**МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ  
МОЛОКА В НИЗКОЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ**

Метод диэлектрической спектроскопии в широком диапазоне частот является перспективным для разработки высокочувствительных автоматизированных систем диагностики субклинического мастита коров [1]. Поэтому развитие теоретических моделей для описания диэлектрической дисперсии молока является актуальным.

Диэлектрические свойства жидкостей выражаются комплексной относительной диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon_r^*(f) = \varepsilon'(f) - j\varepsilon''(f)$  и определяются способностью системы поляризоваться в ответ на внешнее электрическое поле. Полярные жидкости, такие как вода, одноатомные спирты, а также разведенные растворы полярных жидкостей в неполярных растворителях характеризуются одним временем ориентационной релаксации и могут быть описаны уравнениями Дебая [2]. Однако большинство

полярных жидкостей имеют широкую область дисперсии с несколькими временами релаксации, и для описания дисперсии в таких случаях уравнения Дебая неприменимы. Так, в растворах электролитов дополнительная дисперсия диэлектрической проницаемости обусловлена процессами образования и разрушения ионной атмосферы. В периодических полях увеличение диэлектрической проницаемости, вызванное этим эффектом, определяется величиной дополнительного тока смещения и зависит от асимметрии в распределении зарядов [3].

Для моделирования свойств гетерогенных систем необходимо описывать многорелаксационный процесс, обусловленный наличием нескольких типов диполей. В самом простом случае, когда можно пренебречь кооперативными процессами и рассматривать релаксацию различных типов диполей как независимые релаксационные процессы (случай разбавленных растворов), диэлектрическая проницаемость определяется суммой вкладов каждого типа диполей [2]:

$$\frac{\varepsilon' - \varepsilon_\infty}{\varepsilon - \varepsilon_\infty} = \sum_k \frac{C_k}{1 + (\omega\tau_k)^2}, \quad \frac{\varepsilon'' - \varepsilon_\infty}{\varepsilon - \varepsilon_\infty} = \sum_k \frac{C_k \omega\tau_k}{1 + (\omega\tau_k)^2}, \quad (1)$$

где параметры  $C_k$  характеризуют вклад, вносимый каждым независимым релаксационным процессом, и удовлетворяют соотношению:  $\sum_k C_k = 1$ . Для каждого  $k$ -ого процесса, время релаксации может быть определено через молекулярные постоянные по формуле  $\tau_\mu = 4\pi a^3 \eta / kT$ ,  $a$  – радиус сферической молекулы,  $\eta$  – вязкость раствора. В электролитах дополнительные вклады в поляризацию будут давать эффект Максвелла-Вагнера, обусловленный накоплением носителей заряда на межфазных границах, и формирование двойного электрически заряженного слоя Гельмгольца, имеющего диффузный характер распределения заряда на границах раздела фаз. Эти эффекты учитываются для системы непроводящих включений в проводящей среде в теории Духина-Шилова [4].

Учет двойного слоя в электролитах приводит к следующему выражению для инкремента диэлектрической проницаемости

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon^* - \varepsilon_1 = \frac{9}{4} \alpha \varepsilon_1 (\kappa a)^2 \frac{(A_1 a_2 - A_2 a_1)(1 + W + W^2)}{A_1^2 (1 + W)^2 + W^2 (A_1 + A_2 W)^2}, \quad (2)$$

где  $W = a/r_0 = a\sqrt{\omega/2D}$ ,  $D = D^+ D^- (z^+ + z^-)/(z^+ D^+ + z^- D^-)$ ,

$$a_1 = \alpha^+ (1 - z^- q + \alpha_c^- + q \alpha^-) - \alpha^- (1 + z^+ q + \alpha_c^+ + q \alpha^+),$$

$$A_1 = (z^- - \alpha^-)(1 + z^+ q + \alpha_c^+ + q \alpha^+) + (z^+ + \alpha^+)(1 - z^- q + \alpha_c^- + q \alpha^-),$$

$$a_2 = \alpha^+ (1 + z^- q + \frac{D}{D^-} \alpha_1^-) - \alpha^- (1 - z^+ q + \frac{D}{D^+} \alpha_1^+),$$

$$A_2 = -(z^- - \alpha^-)(1 + z^+ q + \frac{D}{D^+} \alpha_1^+) - (z^+ + \alpha^+)(1 - z^- q + \frac{D}{D^-} \alpha_1^-),$$

$$q = z^+ z^- (D^- - D^+) / (z^+ D^- + z^- D^+), \quad \alpha^\pm = \frac{1}{\kappa a} \left[ \frac{3}{2} m^\pm I_2^\pm \mp z^\pm I_1^\pm \right],$$

$$\alpha_c^\pm = \frac{1}{\kappa a} \left[ \frac{3}{2} m^\pm I_{2c}^\pm \mp z^\pm I_1^\pm \right], \quad \alpha_1^\pm = \frac{z^\mp}{\kappa a} [I_1^\pm + I_3^\pm], \quad m^\pm = \frac{\varepsilon_0}{6\pi\eta D^\pm} \left( \frac{RT}{F} \right)^2,$$

$D^\pm, z^\pm$  – коэффициенты диффузии и валентности положительных и отрицательных ионов, составляющих электролит;  $I_1^\pm, I_2^\pm, I_{2c}^\pm, I_3^\pm$  – определяются интегралами для тангенциальных потоков ионов и зависят от граничных условий и распределения концентраций ионов и потенциала в пределах двойного слоя; вид интегралов приведен в [4].

Молоко представляет собой сложную многокомпонентную полидисперсную систему. При моделировании диэлектрических свойств молока нужно основываться на модели Духина-Шилова, рассматривая в качестве непроводящих включений шарики жира, которые погружены в проводящую среду. В первом приближении можно пренебречь фракцией глобулярных белков и соматических клеток, и рассматривать в качестве полярной среды солевой раствор водной фазы молока. Простой учет релаксации белков и соматических клеток можно выполнить на основании формул (1), добавив соответствующие слагаемые к результирующей диэлектрической проницаемости, найденной по формуле (2).

#### Выводы

Таким образом, проанализированы подходы к теоретическому моделированию диэлектрических свойств гетерогенных жидких сред и сделано заключение, что наиболее подходящей моделью по-

ляризации молока является модель Духина-Шилова, учитывающая диффузное распределение заряда двойного электрически заряженного слоя Гельмгольца. Учет релаксации белков и соматических клеток предложено выполнять как вклады в комплексную диэлектрическую проницаемость независимых релаксационных процессов.

#### Список использованных источников

1. Lopes, A.M. Milk characterization using electrical impedence spectroscopy and fractional models / A.M. Lopes, J. A.T. Machado, E. Ramalho, V. Silva // Food Anal. Methods – 2018. – Vol. 11. – P. 901–912.
2. Гусев, Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии: Учебное пособие. – Казань: КГУ, 2008. – 112 с.
3. Методы измерения в электрохимии. Т.2. / Под ред. Э. Егера и А. Залкинда. – Мир, Москва, 1977.
4. Духин, С.С. Диэлектрические явления двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах / С.С. Духин, В.Н. Шилов – Киев: Наукова думка, 1972. – 206 с.

**Кудинович А.Н., м.т.н., Ищенко Д.О.**

### **УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ УСТРОЙСТВ ВЕНТИЛИРОВАНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ**

Повсеместно в хозяйствах с содержанием животных или птицы для разных видов промышленности стараются обеспечить максимально комфортные условия с целью повышения качества продукции и ее возможный прирост. Согласно данным, поддержание сбалансированного питания увеличивает продуктивность животных на 50–60 %, обеспечение необходимого ухода по содержанию – на 15–20 %, а создание благоприятного микроклимата – на 10–30 %. Отклонение параметров микроклимата от установленных показателей приводит к сокращению производства: молока на 10–20%, прироста живой массы – на 20–33 %, яйценоскости кур – на 30–35 %. Кроме того, немаловажными факторами являются увеличение отхода молодняка, сокращение срока службы оборудования, машин и самих зданий, снижение устойчивости животных к заболеваниям.

Рассмотрим несколько видов вентиляции, предлагаемых на современном рынке промышленного оборудования.