но утверждать, что схема соединения обмоток трансформатора Y/Δ с зигзагом обеспечивает симметрию напряжений в допустимых стандартом пределах значений и может успешно применяться в электроустановках сельскохозяйственных потребителей при несимметрии нагрузки.

Список использованных источников

1. Прищепов, М.А. Экспериментальные исследования работы трансформаторов со схемами соединения обмоток «звезда–двойной зигзаг с нулевым проводом» и «звезда–звезда с нулевым проводом при несимметричной нагрузке / М.А. Прищепов, А.И. Зеленькевич, В.М. Збродыга // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: матер. Международной научно-практической конференции, Минск, 24–25 октября 2019 г. : в 2 ч. / редкол.: И.Н. Шило [и др.] ; Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т. – Минск, 2019. – Ч. 1. – С. 390–392.

УДК 637.12.04/07

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА ДЛЯ МОНИТОРИНГА КАЧЕСТВА КОРОВЬЕГО МОЛОКА

Автор: А.А. Батьянова, магистрант
Научный руководитель: В.М. Андрианов, д-р физ.-мат. наук
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

В современных условиях возрастающего ассортимента пищевых продуктов актуальной является проверка качества производимых продуктов питания на всем протяжении технологического процесса производства, начиная от сырья и заканчивая готовой продукцией.

На качество молока оказывает влияние много факторов. В связи с этим производятся проверки молока на выявления бактерий, антибиотиков и различных веществ в составе молока [1-3].

Определить характеристики молока с высокой точностью помогает анализатор – электронный прибор, с помощью которого

можно за короткое время в лабораторных или полевых условиях определить различные параметры молока: содержание белка, жира, лактозы, сухого вещества, соматических клеток и бактерий [4].

Для определения качества молока с помощью автоматизированных методов проверки (электрохимического анализатора) необходимо произвести подбор ряда параметров. В связи с этим в данной работе была поставлена задача проведения моделирования электрохимической ячейки с молоком с целью расчета этих параметров для внесения изменений в конструкцию анализатора.

В работе рассматриваем эквивалентную электрическую схему электрохимической ячейки с молоком. Здесь параллельно с емкостью двойного электрического слоя *C*, формирующегося на границе с электродом, включается активное сопротивление молока *R* и элемент постоянной фазы, моделирующий поляризацию и диффузию белковых молекул и жировой фракции.

В работе выполнено теоретическое моделирование электрохимической ячейки с молоком. Для решения поставленной задачи рассмотрим эквивалентную электрическую схему электрохимической ячейки с молоком. Здесь параллельно с емкостью двойного электрического слоя *C*, формирующегося на границе с электродом, включается активное сопротивление молока *R* и элемент постоянной фазы, моделирующий поляризацию и диффузию белковых молекул и жировой фракции (емкость *C*1, обуславливает поляризацию белковых молекул и жировой фракции). Чтобы смоделировать диффузионные процессы требуется последовательно с резистивным элементом включить элемент постоянной фазы (*CPE*).

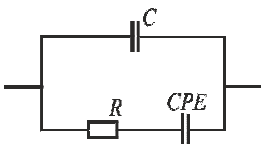

Рисунок 1 – Эквивалентная схема электрохимической ячейки с молоком

В работе проведены расчеты с различными данными, которые могут быть физически изменены в конструкции анализатора. Ниже приведем изменение данных при изменении расстояния между электродами.

Исследуем в расчетах изменения сопротивления $\underline{Z}$ для маститного молока (γ = 7,2 См) по сравнению с нормальным (γ = 5,9 См) в зависимости от расстояния между электродами.

Сопротивление пропорционально расстоянию:

$$R \approx \gamma B d^{\alpha} \qquad (1)$$

где R – сопротивление (резистивный элемент);

B – коэффициент пропорциональности (B=0,1);

γ – проводимость (γ=5,9; 6,01; 7,21);

d – расстояние между электродами, мкм (d=10; 25; 50; 75; 100);

α – показатель степени ($\alpha \approx 1$).

Значение межэлектродного расстояния входит в емкость.

Емкость:

$$C = \frac{\xi \xi_0 S}{d} \approx \frac{1}{d} \cdot k \qquad (2)$$

где k – коэффициент пропорциональности (k=10^{-2}).

Комплексное сопротивление (импеданс) ячейки:

$$\underline{Z} = \frac{(1 + RA(jw)^n)}{(jwC + A(jw)^n (1 + jwCR))} \qquad (3)$$

где A – константа, (принимаем A=50);

n – показатель степени, определяющий фазовый сдвиг (n=0,5)

w – частота (w=50 Гц→314)

Представим формулу (3) в развернутом виде, подставив в нее (1) и (2)

$$\underline{Z} = \frac{(1 + \gamma B d^{\alpha} A(jw)^n)}{(jw\frac{1}{d} \cdot k + A(jw)^n (1 + jw\frac{1}{d} k \cdot \gamma B d^{\alpha}))}$$

Подставим данные и приведем расчет комплексных сопротивлений ячейки (5 вариантов с различным расстоянием между электродами при изменяющейся проводимости молока), при этом первая цифра индекса сопротивления будет указывать на принятый вариант расстояния, вторая цифра – на принятый вариант проводимости.

По итогам расчета получены значения комплексных сопротивлений между узлами цепи – импеданс молока, изменение значения которого связано с изменением его электропроводности, кислотности и вязкости. Построим графики по искомым точкам, действительную часть сопротивления обозначим Д, мнимую часть сопротивления обозначим М и построим график (зависимость расстояния между электродами от значений комплексного сопротивления).

Сведем в таблицу 1 полученные в ходе расчетов данные.

Таблица 1 – Расчетные данные комплексных сопротивлений

ΔRe – зависимость расстояния от действительной части	ΔIn – зависимость расстояния от мнимой части	d – расстояние между электродами, мкм
$Д_1$=-0,15	$М_1$=-0,2	d_1=10
$Д_2$=-0,38	$М_2$=-0,5	d_2=25
$Д_3$=-0,77	$М_3$=-1	d_3=50
$Д_4$=-1,15	$М_4$=-1,5	d_4=75
$Д_5$=-1,54	$М_5$=-2	d_5=100

Изменения состава молока, или молоко от больных маститом коров, изменения электропроводности, кислотности и вязкости будут приводить к изменению импеданса молока. Чем больше отклик, тем больше возможность зарегистрировать изменение сопротивлений и соблюдается точность и чувствительность.

Из графика видно, что с увеличением расстояния между электродами увеличиваются значения комплексных сопротивлений (в мнимой и действительной части). Изменение сопротивлений удалось зарегистрировать, что означает большую чувствительность рассматриваемой схемы. Установлено, что в рассматриваемой модели отклик сенсора линейно возрастает с ростом расстояния между электродами.

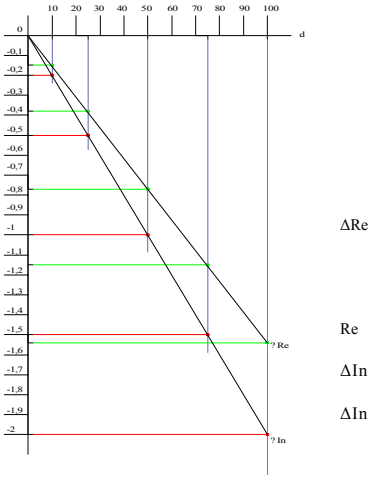

Рисунок 2 – Зависимость расстояния между электродами от значений комплексного сопротивления

Список использованных источников

1. Основные физико-химические свойства молока коровы [Электронный ресурс] Доступ: https://goferma.ru/zhivotnovodstvo/korovy/ fiziko-himicheskie-svojstva-moloka-korovy.html (дата доступа 24.04.2023).

2. Качество молока коров. Физико-химические и технологические свойства [Электронный ресурс] Доступ: https://www.vitasol.ru/notes/kachestvo-moloka-korov-2 (дата доступа 29.04.2024).

3. Состав и физико-химические свойства молока [Электронный ресурс] Доступ: https://alternativa-sar.ru/tehnologu/mol/rodionov-g-v-tekhnologiya-proizvodstva-i-otsenka-kachestva-moloka/2028-3-sostav-i-fiziko-khimicheskie-svojstva-moloka (дата доступа 07.05.2024).

4. Методы контроля молока и продуктов его переработки [Электронный ресурс] Доступ: https://studwood.net/2148248/tovarovedenie/metody_kontrolya_moloka_produktov_pererabotki (дата доступа 24.04.2024).

УДК 631.365.22

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОВЫХ НАСОСОВ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Автор: К.В. Гакало, студент
Научный руководитель: И.А. Цубанов, ст. преподаватель
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь

Одной из стратегических задач в сфере энергосбережения является сдерживание роста валового потребления топливно-энергетических ресурсов при экономическом развитии страны и сближение энергоемкости валового внутреннего продукта Республики Беларусь по паритету покупательной способности со среднемировым значением этого показателя [1].

В складывающихся экономических условиях необходимо предусматривать мероприятия по повышению энергетической эффек-