

У информации, функционирующей на цехом уровне, должны быть потребители: главный технолог, который хочет иметь больше возможностей для анализа, руководитель производства, который хочет более тотального контроля, финансовый директор, который хочет более достоверной информации. Только эти люди могут проконтролировать полноту и корректность учета. Если они не видят смысла в MES-системе, не формируют спрос на информацию из MES-системы, не участвуют непосредственно во внедрении, не обеспечивают работу производителей с системой, то система работает лишь на бумаге. Отсутствие координаторов внедрения – самая частая причина срыва сроков проектов MES: задержки в поставках, монтаже или настройке оборудования. В команде проекта должен быть человек, который будет контролировать все работы проекта – и на стороне разработчиков, и на стороне предприятия, и на стороне поставщиков.

УДК 537.868.3

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКЛИКА СЕНСОРНОЙ СИСТЕМЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТОПОЛОГИИ ЭЛЕКТРОДНОЙ СТРУКТУРЫ

Крылова¹ Н.Г., к.ф.-м.н., доцент, **Олейников¹ Д.А.**, студент, **Крутов¹ А.В.**, к.т.н., доцент, **Ковалев¹ В.А.**, к.т.н., доцент, **Грушевский² В.В.**, к.х.н.

¹ Белорусский государственный аграрный технический университет,

² Государственный комитет судебных экспертиз Республики Беларусь, г. Минск

Электрические и электрохимические сенсорные системы могут обеспечить микробиологический и молекулярно-биохимический контроль в экспресс-режиме со значительной экономической выгодой [1]. Однако большинство предлагаемых систем все еще требуют разработки технологических решений, конструктивных особенностей, высокоселективных покрытий, а также методов и протоколов работы (в том числе подготовку проб и их очистку) для каждой задачи ввиду сложности композитного состава биологических образцов. Целью данной работы является оценка эффективности применения импедансного сенсора на основе встречно-штыревой структуры электродов как средства мониторинга и экспресс диагностики свойств молока. Для этого проведено теоретическое моделирование отклика сенсора в зависимости от его конструктивных особенностей.

В работе исследована модель электрохимической ячейки с молоком, представленная на рис. 1а.

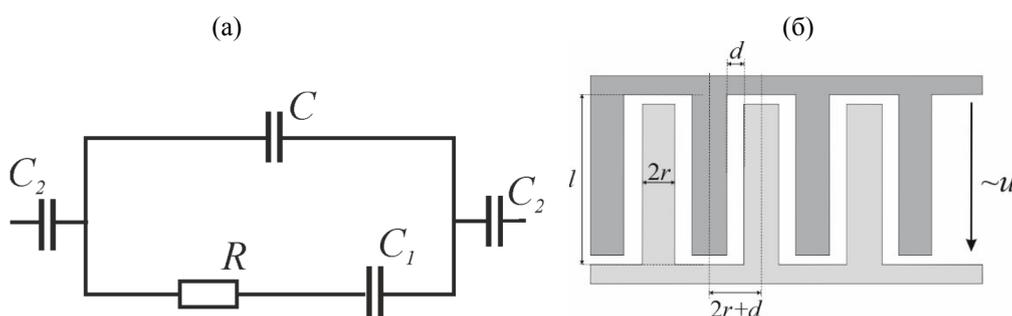


Рисунок 1 – Простая эквивалентная схема электрохимической ячейки с молоком для сенсора нефарадеевского типа (а); схема встречно-штыревой электродной структуры (б)

В этой модели параллельно с емкостью двойного электрического слоя Гельмгольца C , формирующегося на границе с электродом, включено электрическое сопротивление R , величина которого определяется объемной электрической проводимостью молока, и емкость C_1 , обусловленная поляризацией белковых молекул и жировой фракции. Введением дополнительных емкостей C_2 моделируется сенсор нефарадеевского типа, в котором

электроды изолированы диэлектрическим покрытием, что препятствует протеканию электрохимических реакций.

Импеданс цепи определен методом эквивалентных преобразований. В явном виде он выражается формулой:

$$Z_{\text{неФ}} = \frac{C_1^2 R}{C^2 C_1^2 R^2 \omega^2 + (C + C_1)^2} - j \left(\frac{C C_1^2 R^2 \omega^2 + C + C_1}{C^2 C_1^2 R^2 \omega^3 + \omega (C + C_1)^2} + \frac{2}{\omega C_2} \right). \quad (1)$$

Рассматривается импедансный сенсор, выполненный в виде встречно-штыревой электродной структуры (рис. 1б), где каждая пара электродов представляет собой электрохимическую ячейку. Введены следующие параметры: r – полуширина электрода; d – расстояние между электродами; l – длина электрода. Результирующая величина комплексной проводимости сенсора определяется как сумма комплексных проводимостей параллельно соединенных ячеек. Чтобы выявить зависимость отклика сенсора от параметров электродной структуры, для нахождения R использовалась модель двухпроводной линии. Принято условие, что $d \ll l$; $R = \frac{0,5}{\pi \gamma l} \ln \left(2 + \frac{d}{r} \right)$; для определения C_1 предполагалась обратнопропорциональная зависимость от ширины зазора: $C_1 = \frac{a c \varepsilon}{d} \gamma$.

Проводимость молока ($\gamma = 5,9$ См/см для здоровой коровы и $7,2$ См/см для коровы, больной маститом), ε – абсолютная диэлектрическая проницаемость молока, $a c$ – коэффициент пропорциональности. Рассчитывалась разность импеданса для здорового и маститного молока $\Delta Z = \Delta R + j \Delta X = \Delta Z(\gamma = 7,2) - \Delta Z(\gamma = 5,9)$. Расчеты проводились для низких частот ($\omega = 314$ рад/с).

На рис. 2 представлены результаты моделирования.

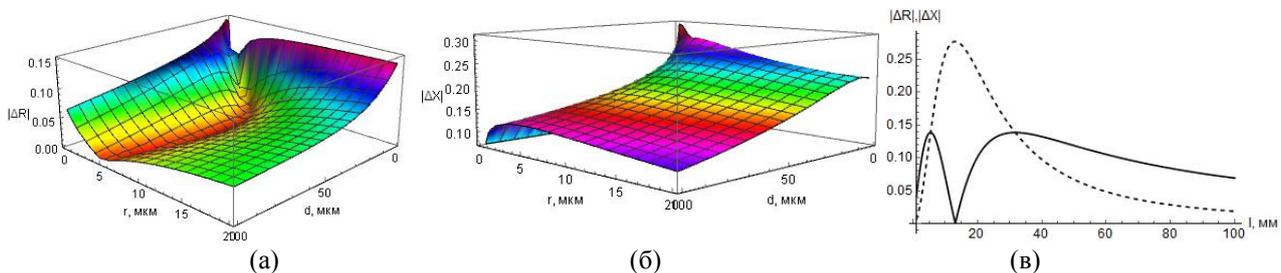


Рисунок 2 – Зависимость отклика сенсора от параметров сенсорной системы:

- (а), (б) – зависимости абсолютных значений разности активного $|\Delta R|$ и реактивного $|\Delta X|$ сопротивлений для здорового и маститного молока от полуширины электродов r и межэлектродного расстояния d при длине электродов $l = 10$ мм; (в) зависимости разности активного $|\Delta R|$ (сплошная) и реактивного $|\Delta X|$ (пунктирная) сопротивлений для здорового и маститного молока от длины электродов l при $r = 2$ мкм, $d = 10$ мкм.

Как видно из рис.2а,б реактивная составляющая $|\Delta X|$ имеет максимум при $r < 5$ мкм, после чего наблюдается плавное снижение, однако при этих значениях параметра активная составляющая $|\Delta R|$ имеет выраженный минимум. При $r > 5$ мкм с ростом межэлектродного расстояния активная и реактивная составляющие убывают по величине. В то же время, при $r < 5$ мкм наблюдается максимум $|\Delta R|$ в области значений $d = 10-30$ мкм. Для дальнейшего анализа выбраны следующие величины: $r = 2$ мкм, $d = 10$ мкм. Как видно из рис.2в, изменения реактивной составляющей импеданса имеют максимум при $l = 13$ мм, при этом активная составляющая разности импеданса равна нулю. Поэтому, в качестве оптимальных параметров следует выбрать значения, соответствующие максимуму функции $|\Delta R|$: $l = 5,4$ мм и $l = 31,7$ мм.

Выводы

Путем моделирования сенсора нефарадеевского типа методом эквивалентных электрических схем найдены следующие оптимальные параметры: длина электродов – 5,4 мм, ширина – < 5 мкм, межэлектродное расстояние – 10-30 мкм.

Литература

1. Biosensors for on-farm diagnosis of mastitis. / S.A.M. Martins [et al.] // Front. Bioeng. Biotechnol. – 2019. – Vol. 7. – Article 186.

УДК 621.35 : 633.1

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫХ
РАСТВОРОВ НА СЕМЕНА ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ**

Кардашов П.В., к.т.н., доцент, **Корко В.С.**, к.т.н., доцент, **Дубодел И.Б.**, к.т.н., доцент
Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск

Одними из основных посевных показателей качества семян, определяемых государственными стандартами (СТБ 1123-98 и СТБ 1894-2008), является их лабораторная всхожесть, энергия прорастания, длина проростков и длина корней. Соответственно задачами экспериментальных исследований являлось определение влияния электроактивированных растворов с различным уровнем водородного показателя (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) на вышеуказанные стандартные показатели при обработке семян пшеницы и ячменя по сравнению с проращиванием в обычной водопроводной воде.

В качестве объекта активирования использовали раствор поваренной соли NaCl концентрацией 4 г/л в водопроводной воде, имеющей исходные $pH = 7,2 \dots 7,4$ и ОВП = +240 ... 300 мВ. Электроактивированные растворы, параметры которых представлены в таблице 1, приготовлены в электрохимическом реакторе при напряжении питания 12 В и рабочем токе 4 А.

Таблица 1 – Показатели электроактивированных растворов

Катодит		Анолит		Смесь католита и анолита 1:1	
рН	ОВП, мВ	рН	ОВП, мВ	рН	ОВП, мВ
9,7...10,3	-355... -435	1,9...2,2	+65...+82	7,2...7,5	-200... -250

Эффективность воздействия электрохимически активированных растворов на исследуемые материалы была оценена путем определения энергии прорастания и всхожести образцов по отношению к контрольным партиям.

Исследования проводили по следующей методике. Бралось пять проб по 100 штук семян без выбора из чистой фракции исследуемых культур. Каждая проба помещалась отдельно в растильни, чашки Петри. При этом семена раскладывали рядами на увлажненную до полной влагоемкости фильтрованную бумагу. Растильни закрывались стеклом и помещались в термостаты, поддерживающий температуру +21°C. Состояние ложа проверяли ежедневно, при необходимости смачивая его электроактивированными растворами, не допуская переувлажнения. Энергию прорастания определяли на 5 сутки для пшеницы и на 7 сутки для ячменя, соответственно всхожесть - на 10 и 14 сутки. К числу всхожих относили семена, корешки которых достигали половины их длины.

Среднеарифметические значения результатов опытов приведены на рисунках 1 и 2.