

УДК 543.545.2

МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ТКАНИ

Друц Э.В., Смольская Т.С.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Камлач П.В. – к.т.н., доцент, доцент кафедры ЭТТ

Аннотация. Проведено математическое моделирование действия электрических токов низкого напряжения, используемых при процедуре электрофореза, на биологические ткани. При заданных значениях температуры и напряжения получены графики зависимости постоянных токов от сопротивления тканей.

Ключевые слова: электрический ток, биологическая ткань, электрофорез.

Введение. В настоящее время метод введения лекарственных препаратов под действием электрического тока используется в качестве и лечебной, и профилактической процедуры. Заболевания нервной, дыхательной систем поддаются излечению при использовании комплексного лечения с включением в него процедуры электрофореза.

Сочетание действия электрического тока и лекарства позволяет значительно снизить дозу медицинского препарата, поскольку даже невысокие концентрации вещества обладают терапевтическим эффектом. Электрический ток позволяет увеличить активность препарата, вводимого при помощи электрофореза, что в теории позволяет применять более низкие дозировки.

Процесс лекарственного электрофореза подразумевает под собой введение лекарственных средств под воздействием постоянного электрического тока, что делает необходимым проведение исследований в области изучения электрических свойств биологических объектов, а также воздействий на них постоянных токов.

Основная часть. Неповрежденная кожа человека обладает высоким омическим сопротивлением и низкой удельной электропроводностью, поэтому в организм ток проникает в основном через выводные протоки потовых и сальных желез, межклеточные щели. Поскольку их общая площадь не превышает 1/200 части поверхности кожи, то на преодоление эпидермиса, обладающего наибольшим электросопротивлением, тратится большая часть энергии тока. Поэтому здесь развиваются наиболее выраженные первичные (физико-химические) реакции на воздействие постоянным током, сильнее проявляется раздражение нервных рецепторов. Преодолев сопротивление эпидермиса и подкожной жировой ткани, ток дальше распространяется по пути наименьшего омического сопротивления, преимущественно по межклеточным пространствам, кровеносным и лимфатическим сосудам, оболочкам нервов и мышцам, значительно отклоняясь от прямой, которой можно условно соединить два электрода. Прохождение тока через ткани сопровождается рядом физико-химических сдвигов, которые и определяют первичное действие гальванизации на организм [1].

При пропускании постоянного электрического тока через биологические объекты его величина с течением времени уменьшается. Этот процесс связан с тем, что возникает электродвижущая сила поляризации обратного направления. Она будет источником тока, который можно измерить, отключив действующую ЭДС и поменяв полярность амперметра. Величина этого тока падает с течением времени до нуля. Закон Ома в этом случае принимает вид

$$I = \frac{U - P}{r}, \quad (1)$$

где P – ЭДС поляризации;

U – электрическое напряжение;

r – сопротивление.

Возникновение ЭДС поляризации связано со способностью живых клеток накапливать заряды при прохождении через них постоянного тока, то есть с электрической емкостью биологических объектов.

Дипольная поляризация имеет большое значение для веществ, молекулы которых обладают большим дипольным моментом (вода, спирты, органические кислоты). Молекулы белков и других высокомолекулярных соединений вследствие диссоциации ионогенных групп и адсорбции ионов также обладают большим дипольным моментом. Поэтому в растворе данных веществ также наблюдается дипольная поляризация. Время релаксации согласно формуле Стокса [2]:

$$\tau = \frac{4\pi\eta\alpha^3}{k_0T}, \quad (2)$$

где α – радиус молекулы;

η – вязкость;

k_0 – постоянная Больцмана;

T – температура.

При наложении разности потенциалов происходит перераспределение потенциалопределяющих ионов в диффузионной части двойного электрического слоя: в области катода их концентрация увеличивается, а в области анода – уменьшается. Если обозначить активность ионов в приэлектродной зоне катода и анода a_1 и a_2 соответственно, то собственные потенциалы катода E_K и анода E_A будут соответственно равны

$$E_K = E_0 + \frac{RT \ln a_1}{nF}, E_A = E_0 + \frac{RT \ln a_2}{nF}, \quad (3)$$

и между электродами возникнет ЭДС поляризации, то есть P , направленная против внешней ЭДС:

$$P = E_K - E_A = \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2}, \quad (4)$$

В качестве метода решения численной модели будет использовано программное средство Maple.

Из формул 1 и 4 получим величину тока:

$$I = \frac{U - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_1}{a_2}}{r}, \quad (5)$$

Активность ионов в приэлектродной зоне катода выше, чем в зоне анода, в 100 раз. Число Фарадея $F = 96485,3$ Кл·моль⁻¹. Универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж·К⁻¹·моль⁻¹. С лечебной целью используется постоянный ток низкого напряжения 20–40 В.

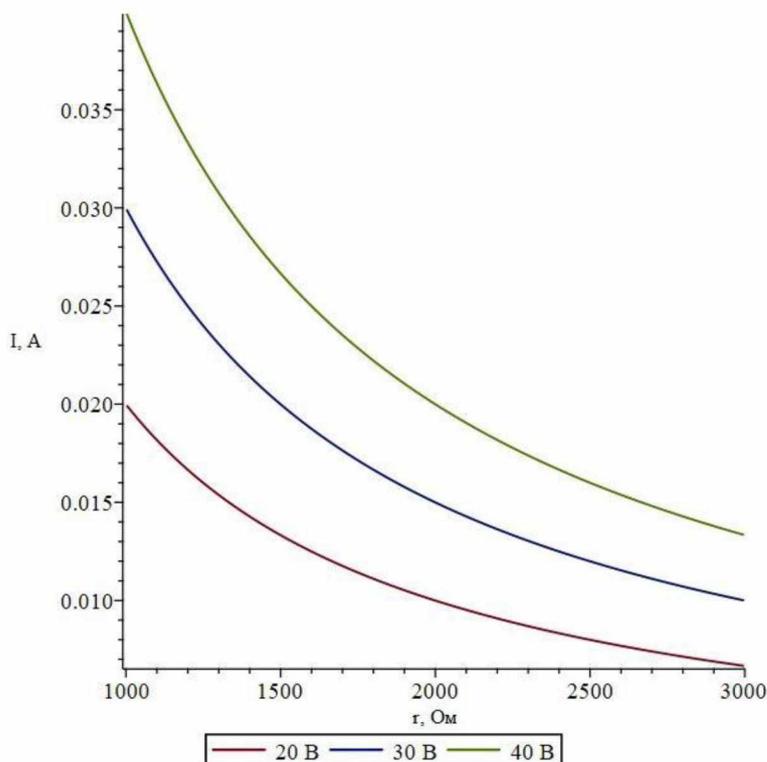


Рисунок 1 – Зависимость силы тока от величины сопротивления биологической ткани

Заключение. При заданных значениях температуры и напряжения были получены графики зависимости постоянных токов от сопротивления тканей, наглядно отображающая, что при увеличении сопротивления ткани сила проходящего тока быстро падает. Также при увеличении напряжения, при котором проводится процедура электрофореза, постоянный ток будет увеличиваться. Полученная графическая модель в дальнейшем может быть использована для моделирования процесса лекарственного электрофореза, подбора оптимального напряжения и токов.

Список литературы

1. Резникова С.В. *Терапевтическое применение постоянного электрического тока. Учебное пособие.* Астрахань : ГОУ ВПО «АГМА» Росздрава, 2007. – 28 с.
2. Бородин, Л.И. *Курс лекций по биофизике / Л.И. Бородин.* – Ярославль : ЯрГУ им. П.Г. Демидова, 2013. – 55 с.

UDC 543.545.2

A MODEL OF THE EFFECT OF LOW VOLTAGE ELECTRIC CURRENT ON BIOLOGICAL TISSUES

Druts E.V., Smolskaya T.S.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Kamlach P.V. – Cand. of Sci., associate professor, associate professor of the department of ETT

Annotation. Mathematical modeling of the effect of low voltage electric currents used in the electrophoresis procedure on biological tissues has been carried out. At the set values of temperature and voltage, graphs of the dependence of direct currents on the resistance of tissues are obtained.

Keywords: electric current, biological tissue, electrophoresis.