

УДК 615.427.03; 615.847.8

М.М. Баран¹, Р.В. Бубнов², Т.О. Войцеховская¹, Л.С. Гнатюк¹, В.И. Зубчук, канд. техн. наук¹,
Имад Исса Джамиль Ирейфидж, канд. техн. наук¹, Ю.С. Синекон, канд. техн. наук¹

Исследование влияния низкочастотных магнитных полей на биологические объекты

Рассматривается один из возможных подходов моделирования магнитотерапевтического воздействия на биологические объекты, на примере воды. Приведены экспериментальные данные изменения pH воды в зависимости от влияния магнитного поля и параметров окружающей среды.

One of the possible approaches on modeling of the magnetotherapeutic effects on biological objects is considered, using water as an example. Experimental data of the water pH changes depending on the effect of the magnetic field and the environment parameters are presented.

Ключевые слова: магнитотерапия, магнитное поле, биологические объекты, модель, кислотно-щелочной баланс.

Введение

В настоящее время магнитотерапия находит широкое применение в медицине [1, 2, 3]. Этому способствует высокая эффективность влияния магнитного поля на организм человека и его составляющие (мышечные ткани, костные ткани, кровеносные сосуды, кровь, лимфатическую жидкость, нервные окончания и т.д.), большое число четко видоизменяемых лечебных методик. При использовании магнитной терапии нет необходимости в приёме лекарств, не надо вводить их в организм при помощи инъекций. Магнитотерапия способствует усилению эффекта влияния лекарств на организм человека, их «транспортировке», локальному рассасыванию. В последнее время все чаще появляются сообщения использования магнитных наночастиц как контейнеров для транспортировки лекарств в определенные области человеческого организма с помощью магнитного поля. «Освобождение» лекарственных веществ из наночастицы может также осуществляться с помощью переменного магнитного поля [4]. Кроме того магнитотерапия ускоряет внедрение в кожный покров мазей, кремов, улучшает эффект фитотерапии в косметологии. Магнитотерапевтические аппараты, применяемые для этих целей, просты, надёжны в эксплуатации. Их можно применять как в условиях клиник, так и в домашних условиях. Обслуживание их минимальное, а цена

низкая. Считается, что создаваемые этими аппаратами магнитные поля безопасны, они свободно проникают сквозь ткани, кости, кожу.

Однако вопросы управления магнитотерапевтическим воздействием на биологический объект изучены не полностью.

Одной из причин этого является недостаточные знания физики влияния магнитных полей на биологические объекты. Отсутствие количественного описания этого влияния с помощью математических моделей, а отсюда трудности выбора критерия оптимизации при лечении магнитным полем и выбора оптимальных магнитотерапевтических воздействий. Так, нет точного описания как ведут себя под воздействием магнитного поля или в «скрещенных» электрическом и магнитном полях кровеносные сосуды, нервные волокна, лимфотическая жидкость и т.д. Как влияют эти поля на обменные процессы в клетках? Как ведут себя лекарственные препараты введённые, например, с помощью лазерного излучения в мышечную ткань? Нет ответа на самый главный вопрос: а абсолютно ли безопасно для человека, как биологического объекта, магнитотерапевтическое воздействие? Ответы на эти вопросы требуют как дальнейших экспериментальных исследований, так и физико-математического моделирования магнитотерапевтических воздействий.

1. Имитационные модели переноса вещества через клеточные мембраны

Для проведения подобных исследований необходимо иметь представление о функциональной системе организма.

Организм состоит из клеток – элементарных частей живого. Ассоциация клеток образует биологические ткани – мышечную, нервную и т.д. Морфологические образования из различных тканей образуют органы: сердце, лёгкие, печень, почки. Объединение органов для выполнения определённых функциональных задач образует функциональные системы: сердечно-сосудистую, эндокринную, пищеварительную, нервную. Функционирование систем исследовано недостаточно полно.

Математическому описанию процессов, происходящих в биологических тканях, органах,

функциональных системах предшествует, как правило, построение имитационных моделей, в качестве которых чаще всего используют или электрические имитационные модели, или модели в соответствии с теорией упругого резервуара [5].

Так, перенос молекул и ионов через мембраны зависит от проницаемости мембраны и движущих сил. Проницаемость мембраны в свою очередь зависит от рН-среды. Проницаемость мембраны можно представить сопротивлениями, моделирующими обменные процессы натрия, калия, хлора R_{K^+} , R_{Na^+} , R_{Cl^-} . Движущие силы можно смоделировать источниками ЭДС соответственно E_{K^+} , E_{Na^+} , E_{Cl^-} (рис. 1).

Это одна из первых, упрощенных моделей биологической мембраны, предложенная Ходжкином и Хаксли [6]. Параметры этой модели должны зависеть от магнитных воздействий. Магнитное поле «расслабляет» стенки кровеносных сосудов, особенно капилляров, нервных волокон, мышечных и соединительных тканей, что обеспечивает приток крови к ним. Под действием магнитного поля заряженные ионы калия, натрия, хлора начинают двигаться более интенсивно, увеличивается подача кислорода и питательных веществ в клетках. Подобные мо-

дели позволят сравнительно просто оценивать токи через мембрану при любой величине потенциалов и их изменениях. Однако, эта модель не объясняет самовозбуждение (автогенерацию) нейронов вообще и не является адекватной, когда её распространяют на соматическую мембрану. Об этом и более подробно о модели мембраны нервной клетки можно познакомиться в работе [7, 8], где показано, что при определенных условиях возможны автоколебания мембраны клеток. Причём форма колебаний мембраны существенно отличается от синусоидальной. Устанавливается закон трансформации изменений физико-химических полей окружающей среды в изменения частоты автоколебаний мембраны клетки (например, ритмической импульсной частоты и биоритмов). Изменение частоты является основным информативным параметром потока нервных импульсов, поступающих от периферической и вегетативной нервных систем в центральную нервную систему. Ниже приведены некоторые экспериментальные зависимости влияния магнитного поля на рН-свойства воды, одной из основных составляющих биологических объектов.

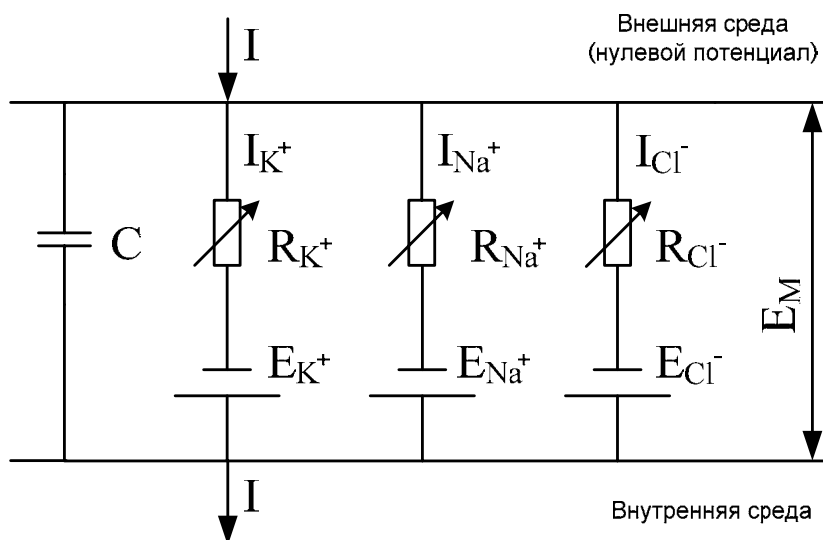


Рис.1. Электрическая модель участка мембраны нерва

2. Экспериментальные исследования

Исследования влияния магнитного поля на организм человека с помощью постоянного и переменного магнитных полей на кафедре физической и биомедицинской электроники ведутся с 1991 года. Для этого был разработан и изготовлен магнитный стимулятор МС – 92М. На его базе был построен магнито-терапевтический комплекс МС – 2000, предназначенный для терапевтического воздействия на

организм человека постоянным и переменным магнитным полем, параметры которого корректируются непосредственно в процессе проведения терапевтической процедуры, что обеспечивает максимальный терапевтический эффект. Комплекс обеспечивает установку параметров амплитуды магнитного поля от 1 до 30 мТл, и частоты от 1 Гц до 100Гц; установку магнитного сигнала любой формы. Может генерировать непрерывно любой выбранный сигнал в преде-

лах от 1Гц до 100 Гц (режим качающей частоты). Прибор обеспечивает проведение экспериментальных исследований в широком диапазоне амплитуд магнитного поля, частот и формы электромагнитных импульсов, что имеет немаловажное значение при проведении исследований.

Комплекс успешно используется при лечении гнойных ран, сосудов конечностей, в стоматологии.

Методика эксперимента. В качестве исследуемого биологического объекта использовалась вода, поскольку вода максимально приближена к внутриклеточной среде, она может служить детектором влияния магнитного поля на биологические объекты.

Вода помещалась в плоскую полистирольную кювету, которая размещалась между магнитными индукторами.

Магнитное поле прибора всегда изменяет величину pH в щелочную сторону, относительно воды, необработанной магнитным полем. Величина сдвига pH для максимальной индукции магнитного поля ($B=30$ мТл) при экспозиции действия поля на воду ($t=15$ мин.) составляет (0,20-0,40), в зависимости от формы импульса магнитного поля, а также от структуры физико-химических характеристик воды или водного раствора.

Эксперимент проводился при постоянной температуре $t = 22$ °С. Замеры были произведены перед началом эксперимента, потом через 10, 20 и 40 минут соответственно.

Результаты одного из 17 экспериментов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость изменения pH от времени экспозиции

Время, мин	Уровень pH			
0	5.7	5.8	5.3	5.4
10	6.0	5.9	6.1	5.7
20	6.4	6.3	6.8	6.6
40	7.3	7.6	7.5	7.4

По данным эксперимента было подобрано модель зависимости изменения pH в зависимости от времени экспозиции и 95% доверительный интервал, внутри которого находятся результаты всех проведенных экспериментов (рис. 2).

На рис. 3 приведены результаты изменения значения pH двух водных систем: морской воды и дистилата в зависимости от времени действия магнитного поля для одного из режимов работы прибора. Видно, что эффект действия магнитного поля на воду, водно-солевые растворы зависит от состава водной системы.

При измерениях необходимо учитывать зависимость pH от температуры, влажности воздуха, солнечной радиации и т.д. На рис. 4 показана зависимость pH водного раствора в зависимости от температуры и 95% доверительный интервал. Зависимость убывающая, изменяется на 1 pH в пределах 0 – 30 °С.

На рис.5 показана зависимость pH водного раствора в зависимости от влажности воздуха и 95% доверительный интервал.

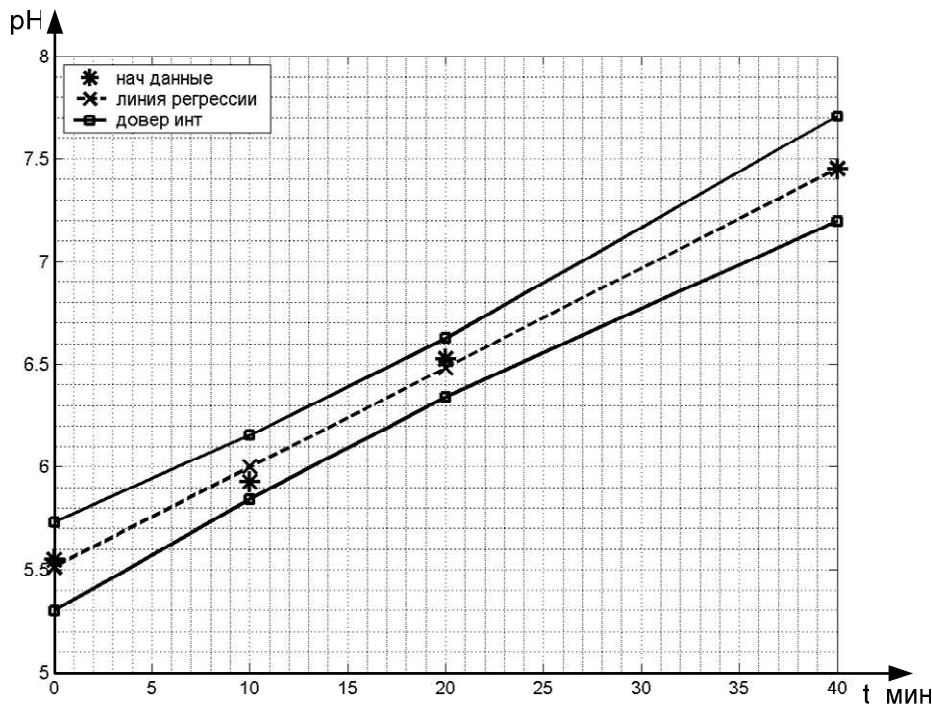


Рис. 2. Подобранная модель и 95% доверительный интервал

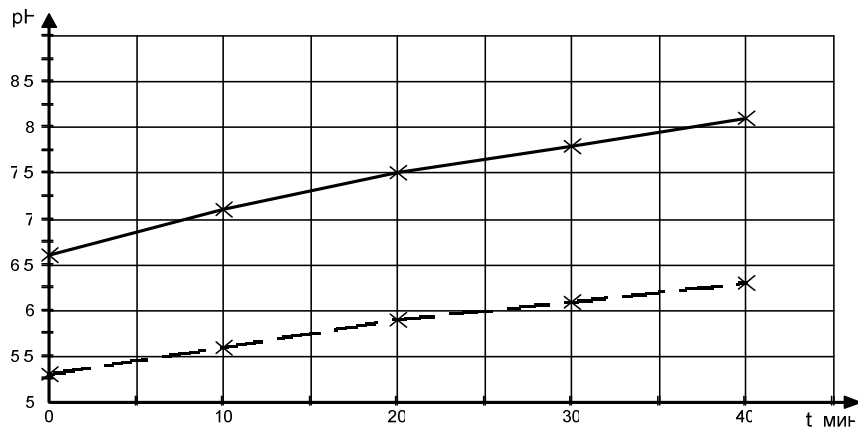


Рис. 3. Зависимость pH от времени для морской воды (сплошная линия) и для дистилата (штриховая)

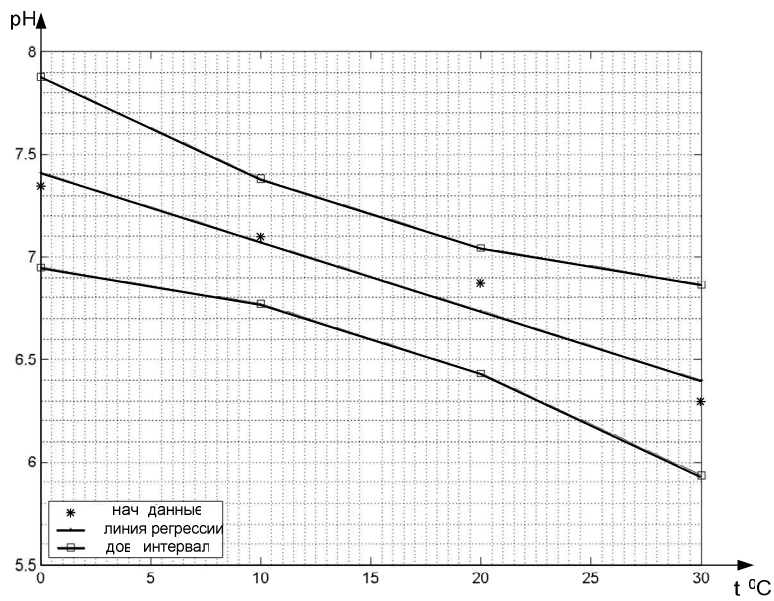


Рис. 4. График зависимости pH-параметра от температуры

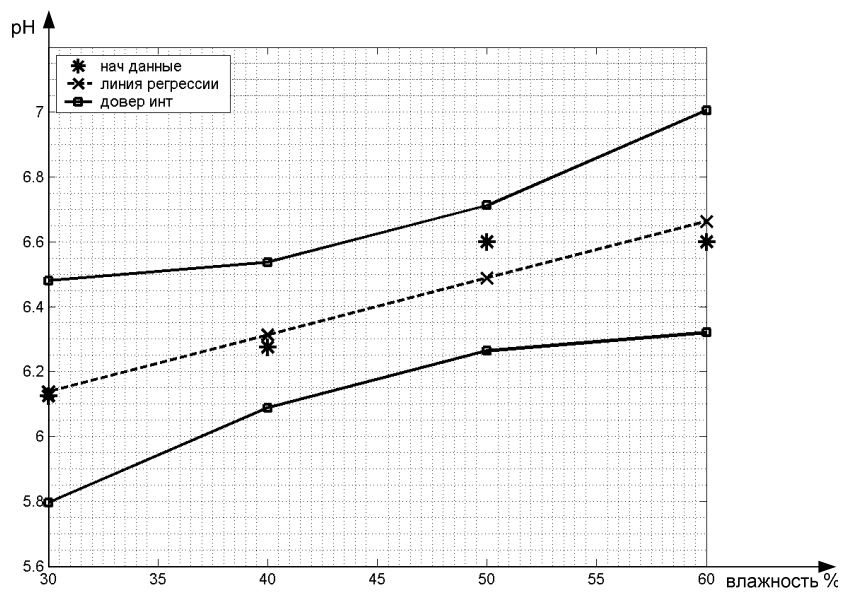


Рис. 5. График зависимости pH-параметра от влажности воздуха

Обозначим еще такой интересный факт, как зависимость изменения рН питьевой воды для разных толщин воды, которая находится между магнитными индукторами. Так, для обычной питьевой воды наблюдалось уменьшение эффекта изменения рН при увеличении толщи воды. Такой эффект может говорить, что вода проявляет экранирующий эффект внешнего магнитного поля. Этот факт требует еще более детального изучения.

Выводы

Приведенные выше экспериментальные данные хорошо согласуются с уже имеющимися [9, 10, 11] и дополняют их. В работе показано, что при исследованиях воздействия магнитного поля на воду, в том числе и на биологические объекты, необходимо учитывать влияние внешних факторов. Получены зависимости изменения величины рН воды от длительности воздействия магнитного поля, температуры, влажности воздуха, построены доверительные интервалы.

Литература

1. *Соловьева Г.Р.* Магнитотерапевтическая аппаратура. - М: Медицина, - 1991, - 167с.
2. *Жулев В.И., Кирьяков О.В.* Управление магнитотерапевтическим воздействием по показателю активности регуляторных систем. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. -2001.-№10.-С.33-39.
3. *Лобкаева Е.П.* Теоретическое обоснование подбора параметров импульсного магнитного поля для достижения стойкого терапевтического эффекта. // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. - 2006. - № 1-2. - С. 12-20.
4. *Никитин П.И.,* Ветошко П.М. Патент РФ №2166751. 09.03.2000
5. *Полечителев Е.П.* Методы медико-биологических исследований. Системные аспекты. Житомир. 1997. -186с.
6. *Hodgkin A.L.* Ionic movements and electrical activity in giant nerve fibres. Proc. Roy. Soc. London Ser. B. 1958. 148: 1-37,
7. *Салюта М.Е.,* Богданов Г.Б., Синекон Ю.С. Экология, доказательная медицина и биомедицинская электроника: интегративный подход //Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». —2005. — 4.1. — С. 5—27.
8. *Богданов Г.Б.,* Синекон Ю.С., Бучинский С.Н. Биоэлектроника и биоэлектронные системы. // Электроника и связь. —2002.— №15.—С.97-107.
9. *Зубчук В.И.,* Курик М.В., Синекон Ю.С. Деякі ефекти впливу терапевтичного магнітного поля на воду. // Електроніка і зв'язь. — 2000.—№9.—С.143-144.
10. *Грохольський А.П.,* Зубчук В.И., Синекон Ю.С., Флис О.З. Электронное устройство для магнитотерапии и его применение в комплексном лечении парадонтитов. //Электроника и связь. —1996.—№1.—С.90-96.
11. *Гемба В.Н.,* Синекон Ю.С., Кузовик В.Д. Перспективы применения низкоинтенсивных полей и формирующих их приборов в медицине: выводы по результатам моделирования. // Электроника и связь. — 2001.—№10.—С.64-67.

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

²КБ «Феофания»