

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО
БИОТЕХНИЧЕСКИМ СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ ФИЗИКО-
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА УРФУ.
МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА**

**LABORATORY WORKSHOP ON BIOTECHNICAL SPECIALTIES OF
PHYSICO-TECHNOLOGICAL INSTITUTE OF URFU.
MAGNETO-THERAPEUTIC INSTALLATION**

Анна Александровна Баранова Anna Aleksandrovna Baranova

кандидат технических наук, доцент
a.a.baranova@urfu.ru

Денис Константинович Летягин Denis Konstantinovich Letyagin

бакалавр
denletyagin@gmail.com

Константин Олегович Хохлов Konstantin Olegovich Khokhlov

кандидат физико-математических наук, доцент
k.o.khokhlov@urfu.ru

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный
университет имени первого Президента
России Б. Н. Ельцина», Екатеринбург, Россия

Yeltsin Ural Federal University, Yekaterinburg,
Russia

Аннотация. Рассмотрены новые лабораторные работы, включенные в лабораторный практикум по дисциплинам, связанным с биотехническими системами и технологиями, которые используются в настоящее время на биотехнических специальностях физико-технологического института.

Ключевые слова: магнито-терапевтическая установка, импульсное высокочастотное магнитное поле, микроконтроллерное управление.

Abstract. The article discusses the laboratory practical work on subjects related to biotechnical systems and technologies. Example of the laboratory work, currently in use on the biotechnical specialties of physico-technological institute.

Keywords: magneto-therapeutic installation, impulse high frequency magnetic field, a microcontroller control system.

На сегодняшний день онкологические заболевания являются острой медицинской проблемой. Наряду с радиационной и химиотерапией существует большое количество способов их диагностики и лечения. Есть предположение, что магнитное поле определенной частоты и ам-

плитуды магнитной индукции тоже способно деструктивно влиять на злокачественные опухоли.

В настоящее время существует около 20 видов аппаратов для магнитотерапевтических медицинских применений. Большинство из них

эффективны при лечении суставов, отита, гайморита, бронхиальной астмы, сердечно-сосудистой системы. Принцип их работы основан на том, что высокочастотным магнитным полем «расшатываются» застои, происходит внутренний прогрев органа, улучшается его кровоснабжение. Нас же будет интересовать деструктивное воздействие на пораженные клетки.

В лечебной практике известно, что чем быстрее происходит размножение и рост клеток, тем более они чувствительны к любому раздражающему влиянию. Эффект данного метода основан именно на том, что магнитное поле с определенными характеристиками должно губительно воздействовать только на опухолевые клетки.

Увеличение индукции выше 120 мТл и частоты магнитного поля более 100 Гц вызывает появление гемодинамических расстройств, которое сопровождается дистрофическими изменениями в живых клетках. Эти явления свидетельствуют о стрессовых реакциях, вызывающих сдвиги в обмене веществ, уменьшение интенсивности энергетических процессов, нарушение проницаемости клеточных мембран, и, как следствие, гипоксию. Поскольку в опухолевых клетках метаболизм происходит быстрее, чем в обычных, то при кратковременном воздействии на смесь здоровых и больных клеток удастся разрушить зараженные и практически не затронуть здоровые.

Типовая магнитотерапевтическая установка (МТУ) представляет собой один или два (иногда больше) соленоиды (индуктора), в пространство между которыми помещают участок тела, подвергаемый терапии (рис. 1). Блок управления необходим для формирования импульсов тока в соленоидах и импульсов магнитного поля в пространстве между ними. Выбор режима работы осуществляется при помощи персонального компьютера (ПК) или другого специализированного устройства.

Существующие магнитотерапевтические установки высокой мощности в основном используют метод низкочастотного формирования импульсов магнитного поля [1]. Однако у низкочастотного варианта существует ряд ограничений по временным параметрам: импульсы имеют недостаточно короткий фронт и спад тока (сотни миллисекунд), поэтому

возможная частота их следования составляет не более 1–2 Гц.

При этом в литературе [2] приведены сведения, что реакция клеток на внешнее возбуждение зависит именно от скорости нарастания фронта импульса тока. Максимальный терапевтический эффект достигается при значениях нарастания индукции магнитного поля за единицы миллисекунд, десятки – в худшем случае. При коротких фронтах имеется возможность уменьшить длительность самих импульсов, что позволяет повысить частоту их следования и получить повышенный эффект от терапии. Для достижения указанных режимов было разработано устройство, способное формировать импульсы, близкие по форме к прямоугольным — с более коротким фронтом (на порядок выше по сравнению с низкочастотным вариантом).

Принцип работы высокочастотной МТУ заключается в следующем. Чтобы сократить время нарастания фронта импульса, требуется подать на соленоиды значительно большее напряжение, чем в низкочастотном варианте установки. Поэтому для устранения указанных выше ограничений в разработанном силовом блоке используется высоковольтный и высокочастотный способ формирования импульсов тока.

Разработанная МТУ позволяет формировать в индукторах импульсы тока различной полярности с коротким временем фронта и спада. На рис. 2 представлен примерный вид диаграмм импульсов тока (I) и напряжения (U), которые описывают данный принцип работы.

Чтобы создать короткий фронт импульса тока, необходимо подать запускающий импульс высокого напряжения (1). Фронт тока формируется до заданного уровня в течение определенного времени. По достижении нужного уровня тока требуется обеспечить его постоянное значение до окончания импульса. Для этого применен принцип широтно-импульсной модуляции. Широтно-импульсный модулятор (ШИМ) создает на соленоидах пачку высоковольтных высокочастотных «поддерживающих» импульсов такой же амплитуды, как запускающий (2), а длительность пачки в сумме с запускающим импульсом соответствует по длительности импульсу тока. В момент окончания импульса ток через соленоиды замыкается

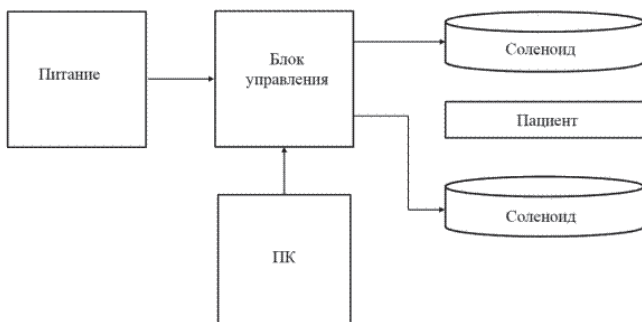


Рис. 1. Типовая структурная схема с двумя соленоидами

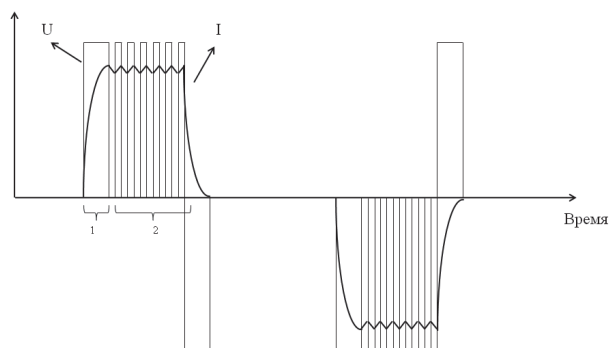


Рис. 2. Эпюры напряжения и тока в соленоидах

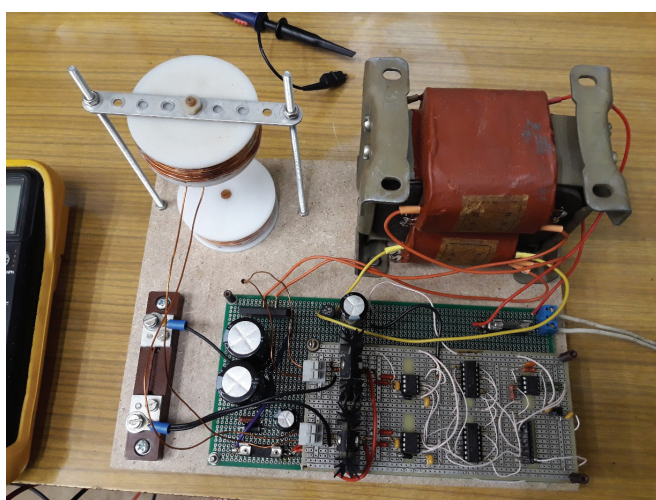


Рис. 3. Лабораторный стенд МТУ

в цепи разряда, создающей импульс напряжения противоположной полярности, формируя короткий задний фронт импульса.

Лабораторный стенд. На основе МТУ, проходящей в настоящее время тестовые испытания [3], для учебных, научно-практических и исследовательских целей разработан и изготовлен лабораторный стенд (рис. 3), который позволяет создавать импульсное магнитное поле частотой до 100 Гц и амплитудой до 120 мТл. Предполагаемая максимальная сила тока через соленоиды равна 10 А. Таким образом, средний ток, протекающий через соленоиды в каждый момент

времени, не будет превышать 5 А при величине скважности более двух.

В качестве «пациента» предполагается использование живых клеток (например, дрожжевой массы). Воздействие на них можно проверять и анализировать при помощи камеры Горяева — доступного способа определения концентрации выживших клеток с использованием простого оптического микроскопа. Посредством персонального компьютера (ПК) задаются предварительные характеристики магнитного поля, приведенные выше. Информация в ПК передается от блока управления, в качестве которого выступает микроконтроллер (на начальном этапе реализации предполагается использовать простейший из серии Arduino). В установке предусмотрено измерение сигналов тока с обмоток соленоидов (и, соответственно, индукции магнитного поля) для поддержания этого значения на заданном уровне при помощи обратной связи.

Проведение лабораторного практикума. Лабораторный стенд МТУ позволит учащимся самостоятельно исследовать зависимость биологического эффекта от таких характеристик магнитного поля, как время нарастания фронта и спада, амплитуда магнитной индукции, частота, скважность и пр. При помощи регулирования параметров установки реализована возможность в ходе проведения лабораторной работы проверить гипотезу о деструктивном влиянии магнитного поля определенных характеристик на опухолевые клетки. Изменяя параметры установки, учащиеся смогут найти пороговое значение магнитного поля, после которого начинается деструктивное влияние на клетки.

Исследование планируется проводить на радиационно-индуцированной адаптации на дрожжевую культуру штамма *Saccharomyces cerevisiae*. Дрожжевая культура может содержаться в питательной среде следующего состава: 4 % – сахар, 96 % – дистиллированная вода. Подсчет клеток осуществляется при помощи камеры Горяева.

Стоит также упомянуть, что посредством лабораторного стенда будет исследоваться воздействие импульсов на смесь здоровых и опухолевых клеток, что даст возможность оценить влияние магнитного поля на здоровые клетки.

С точки зрения работы электрической схемы МТУ, студенты смогут проводить измерения и выявлять зависимость таких электрических характеристик, как величина и форма тока (и, соответственно, амплитуда магнитной индукции) от величины прикладываемого напряжения, скважности, длительности запускающего импульса и ряда других параметров. Для этого предусмотрено достаточное количество контрольных точек, к которым подключены измерительные приборы электрических параметров: осциллограф, мультиметр, частотомер и др.

Лабораторная работа «Магнитотерапевтическая установка» предусматривает следующие цели:

- 1) познакомиться с основными параметрами установки, методами влияния магнитного поля на живые организмы;
- 2) провести серию экспериментов по воздействию высокочастотного магнитного поля на живые организмы;
- 3) подтвердить/опровергнуть теорию о пороговом значении магнитного поля;
- 4) проанализировать результаты воздействия высокочастотного (ВЧ) магнитного поля на здоровые клетки;
- 5) провести измерение периода и длительности импульсов напряжения, поступающего на систему соленоидов;
- 6) сравнить расчетные значения величины тока и магнитной индукции с измеренными значениями;
- 7) провести сравнительный анализ экспериментальных и расчетных значений, сделать

выводы о погрешностях и их природе для дальнейшего анализа.

В качестве задания студентам необходимо ознакомиться с принципом работы магнитотерапевтической установки, а также провести серию экспериментов по воздействию магнитного поля на живые организмы. В ходе выполнения работы требуется определить влияние магнитного поля на здоровые клетки и на зараженные, проверить предположение о пороговом значении параметров магнитного поля, а в случае подтверждения определить данные параметры.

Таким образом, нами был разработан и изготовлен лабораторный стенд, являющийся макетом реальной магнитотерапевтической установки. Стенд предназначен для формирования одно- или двухполярных импульсов высокочастотного магнитного поля, измерения и стабилизации амплитуды магнитной индукции, а также программных настроек с целью изменения его характеристик. Устройство отвечает принципам простоты, эргономичности и надежности. Оно безопасно для использования в учебном процессе благодаря наличию гальванической развязки от напряжения промышленной питающей сети 220 В, отсутствию высоких напряжений и реализованной схеме аварийной защиты.

Лабораторный стенд может быть использован в различных учебных курсах, читаемых для таких биомедицинских специальностей, как «Радиационная биофизика», «Узлы и элементы биотехнических систем» и др.

Список литературы

1. Патент СССР 4664926/14/039695.
2. Боголюбов В. М. *Общая физиотерапия* / В. М. Боголюбов, Г. Н. Пономаренко. Санкт-Петербург: Правда, 1996. 480 с.
3. *Стационарное устройство для воздействия низкочастотным магнитным полем на медико-биологические объекты, система управления и формирования импульсов, индуктор магнитного поля и система механического привода стационарного устройства: патент на изобретение № 218.016.5396 / Е. Д. Усков, А. П. Волобуев. 2018. 11 мая. Бюл. № 14.*