

## Устройство для воздействия постоянным магнитным полем и системный многофакторный анализ в магнитобиологическом эксперименте

И.Л. Слободянюк<sup>1</sup>, Ю.В. Никольская<sup>2</sup>, С.Е. Кисляев<sup>3</sup>,  
П.Г. Пичугина<sup>4</sup>, Т.А. Антипова<sup>1</sup> , Л.В. Матвеева<sup>5</sup>,  
В.А. Мачихин<sup>6</sup>, В.А. Поляков<sup>1</sup>, Э.С. Гаспаров<sup>6</sup>, А.Г. Майоров<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Самарский государственный медицинский университет  
443099, Россия, г. Самара,  
ул. Чапаевская, 89

<sup>2</sup> ДЮСШ ОР «Икар»  
607182, Россия, Нижегородская обл., г. Саров,  
пр. Музрукова, 43, стр. 2

<sup>3</sup> Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева  
443086, Россия, г. Самара,  
Московское шоссе, 34

<sup>4</sup> Пензенский государственный университет  
440026, Россия, г. Пенза,  
ул. Красная, 40

<sup>5</sup> Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева  
430005, Россия, г. Саранск,  
ул. Большевикская, 68

<sup>6</sup> Самарский государственный технический университет  
443100, Россия, г. Самара,  
ул. Молодогвардейская, 244

<sup>7</sup> Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики  
443010, Россия, г. Самара,  
ул. Л. Толстого, 23

**Аннотация – Обоснование.** Интерес к биологическому воздействию электромагнитных излучений на биологические объекты связан с возможностью их использования при решении целого ряда фундаментальных и прикладных задач: от рассмотрения биологических обратных связей в реальном масштабе времени, что позволяет разрабатывать радиоэлектронные медицинские комплексы, до создания нейрокомпьютерных интерфейсов, включая компоненты живых клеток. **Цель.** В работе описана разработка устройства для воздействия на биологические объекты постоянным магнитным полем, позволяющего моделировать основные параметры физического фактора, для проведения магнитобиологического эксперимента с нормировкой воздействия неионизирующего излучения заданных параметров. **Методы.** Устройство для воздействия на биологические объекты постоянным магнитным полем позволяет получить в большом объеме максимально однородное магнитное поле. **Результаты.** Математическое моделирование изменений морфофункционального состояния коры надпочечников по одиннадцати биологическим параметрам в разные сроки воздействия нормированным постоянным магнитным полем при воздействии предельно допустимого уровня оценивалось по отклонению интервального показателя и его нормированного значения. Воздействие данного фактора приводило к отклонению интегрального показателя в клубочковой зоне надпочечников, на 30-е сутки составило  $6,53 \pm 1,30 \cdot 10^{-2}$ , в дальнейшем на 60-й день отклонение увеличилось на  $8,28 \pm 1,55 \cdot 10^{-2}$ , на 90-е –  $4,84 \pm 1,50 \cdot 10^{-2}$ , далее на 120-е сутки оно не отличалось от нормированного. **Заключение.** После прекращения действия постоянного магнитного поля в сериях 15–30 мТл экспериментов морфофункциональное состояние тимуса возвращалось к норме. Таким образом, устройство рекомендовано к применению в экспериментальной деятельности.

**Ключевые слова** – действия магнитных полей, многофакторный анализ, магнитобиологический эксперимент.

### Введение

Целью работы является разработка устройства для воздействия на биологические объекты постоянным магнитным полем, позволяющего моделировать основные параметры физического фактора, для проведения магнитобиологического эксперимента с нормировкой воздействия не-

ионизирующего излучения заданных параметров. Промышленное производство и активизация темпов научно-технического прогресса изменяют интенсивность многих физических факторов окружающей среды (температура, электромагнитное излучение и т. п.), что создает условия для напряжения систем организма, обеспечивающих адаптацию организма к внешним факторам. Ис-

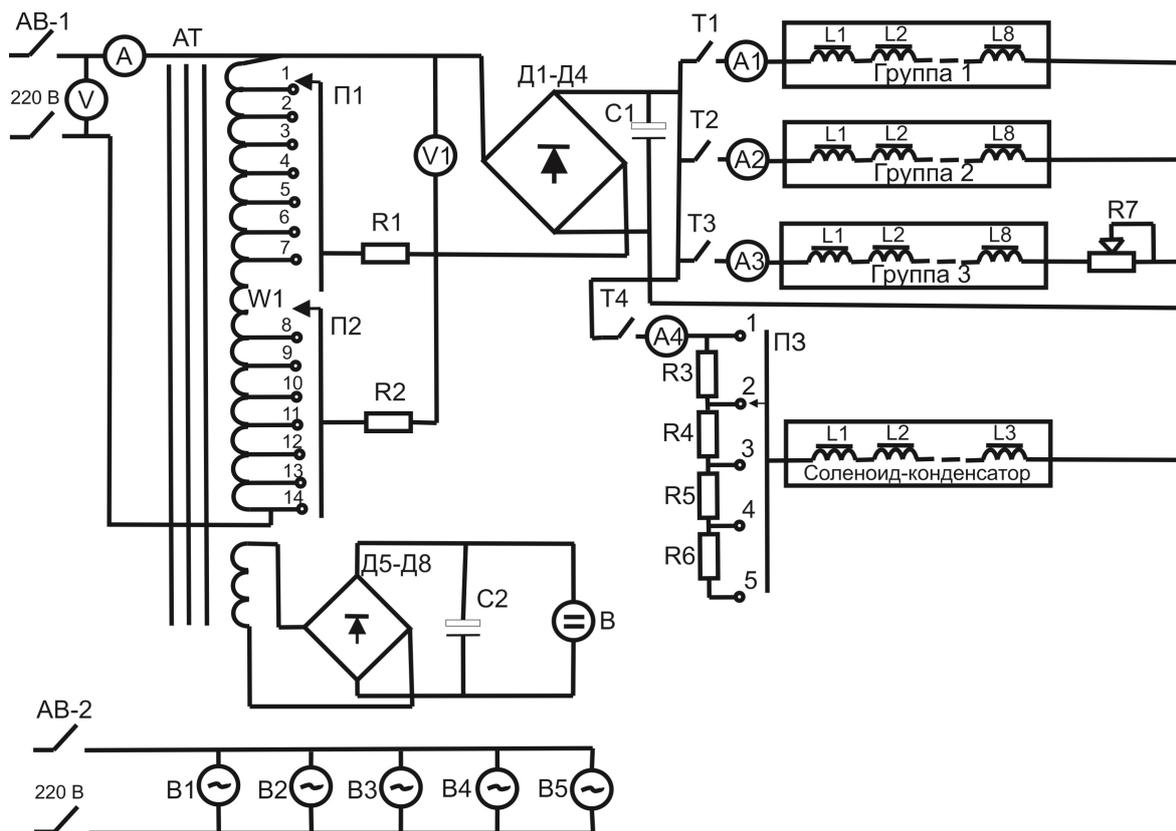


Рис. 1. Принципиальная схема устройства  
Fig. 1. Schematic diagram of the device

кусственные магнитные поля обладают биологической активностью, позволяя изменять функциональное состояние нервной системы, влиять на функциональную активность гипоталамуса, изменять гормональный статус эндокринных желез и оказывать влияние на различные стороны метаболизма.

Биотропные параметры постоянного магнитного поля (ПМП) выбирались в соответствии с запросами создания и использования новых видов техники. Особую актуальность и значимость в теоретическом и прикладном значении исследования, связанные с изучением биологической эффективности магнитного поля (МП), приобретают к концу XX и началу XXI века. Научно-технический прогресс, охватив все стороны общественной жизни, способствует расширению контактов человечества с МП различной напряженности. Это постоянно ставит вопросы не только безопасности для человека, но и охраны всех элементов биосферы. Научные исследования, проводимые в различных областях электротехники, электроники, ядерной физики и т. д., осуществляются с использованием приборов и установок, генерирующим мощные МП. Широко применяются магниты в электродвигателях и генераторах постоянного

тока, на рабочих местах обслуживающего персонала установок, в военной технике. В настоящее время ПМП различных характеристик и интенсивностей нашли широкое применение в клинической медицине как физиотерапевтический фактор. Было отмечено, что ПМП обладают значительной проникающей способностью на биологические структуры, чем, вероятно, можно и объяснить тотальный характер воздействия ПМП на все органы, ткани и системы организма биологических объектов. Наиболее центральными и привлекающими внимание в работе исследователей являются две гипотезы: 1) влияние МП на радикальные реакции, протекающие в клетке; 2) влияние МП вызываются электрическими токами, индуцированными в тканях организма. По степени участия в ответной реакции организма при общем воздействии МП на системы организма можно распределить в следующем порядке: нервная, эндокринная, сердечно-сосудистая, дыхательная, костная.

## 1. Предлагаемое устройство

Устройство для воздействия на биологические объекты ПМП (рис. 1) позволяет получить в большом объеме максимально однородное магнитное

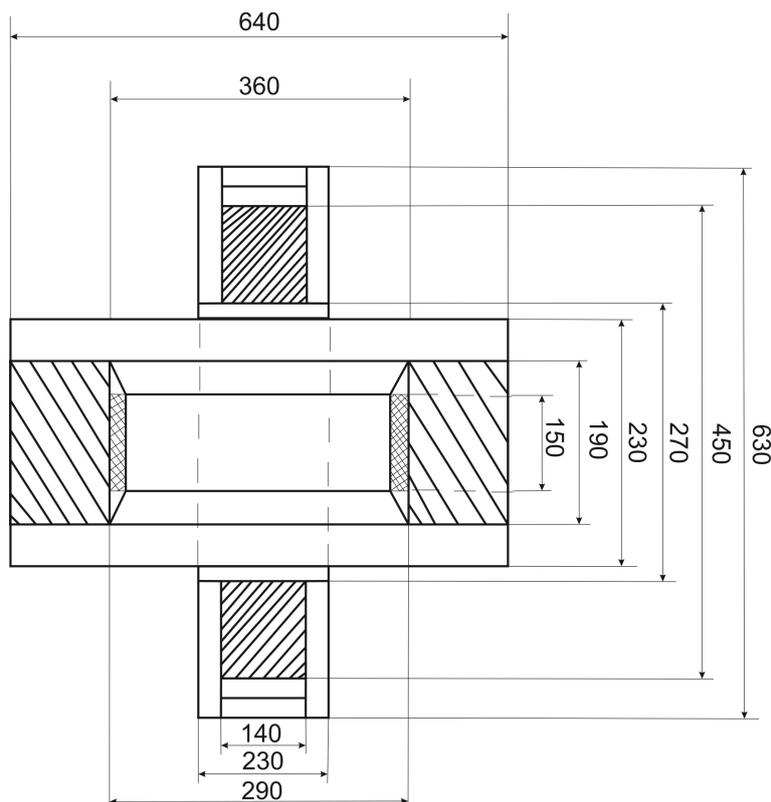


Рис. 2. Схема и размеры камеры устройства  
 Fig. 2. Diagram and dimensions of the device camera

поле. Данное устройство предназначено для экспериментальных исследований в области магнито-биологии. Конструкция устройства позволяет одновременно воздействовать ПМП на 30-40 половозрелых белых крыс, 15-18 морских свинок. Схема и размеры камеры устройства представлены на рис. 2. Величина магнитной индукции в месте нахождения лабораторных животных может плавно меняться от 0 до 0,1 Тл (100 мТл).

Однородность магнитной индукции во всех участках межполюсного пространства (место нахождения контейнера с животными) около 98,5 %, что отличает данную конструкцию от известных промышленных и индивидуально изготовленных генераторов ПМП, используемых при изучении магнитобиологических эффектов. Максимально однородное ПМП горизонтальной направленности величиной магнитной индукции до 0,1 Тл создается в межполюсном пространстве объемом около 30 000 см<sup>3</sup> тремя группами (ступенями) электромагнитов и трехсекционным соленоидом-концентратором. Соленоид-концентратор, имеющий прямоугольную форму, предназначен для выравнивания величины магнитной индукции по всему объему межполюсного пространства и создания дополнительного магнитного поля. Устройство

для воздействия на биообъекты состоит из трех основных частей:

- источника с контейнером для животных;
- системы управления и контроля;
- вентиляционной части.

Рабочая часть излучателя состоит из двух расположенных параллельно прямоугольных пластин (1), выполненных из магнитомягкого материала, в пространстве между которыми создается магнитное поле (рис. 2). Магнитное поле излучательной части представляет собой определенным образом расположенные магнитопривод (5), электромагниты (2, 3, 4) и соленоид-концентратор (6). Электромагниты первой группы (2) создают магнитное поле между пластинами и состоят из двух секций по четыре соленоида, расположенных в ряд в верхней и нижней части магнитопольного пространства соответственно. Электромагниты второй группы (3), две секции по 4 соленоида, третьей группы (4), усиливают магнитное поле в центральной продольной части основных пластин.

Максимально однородное магнитное поле создается концентраторной системой, состоящей из пассивной и активной частей. Пассивная часть представляет собой пластины (7) из мягкой стали, укрепленной на внутренней части основных пла-

стин. Активная часть представлена соленоидом-концентратором (6), обмотка которого (8) состоит из трех секций определенной конфигурации, что позволяет при оптимальном соотношении токов во всех группах соленоидов излучательной части устройства получить максимально однородное ПМП. Кроме того, специальное выполнение крайних секций трехсекционной обмотки в виде трапеции обеспечивает коррекцию неравномерности постоянного магнитного поля по периферии заданного объема. Все пластины, магнитопровод, концентраторные пластины и сердечники изготовлены из мягкой отожженной стали марки СТ.3. Сердечники длиной 190 мм и 60 мм помещены внутри катушек с обмотками из медной проволоки длиной 1,42 мм, в каждой катушке 2000 витков.

Для крепления использовались латунные болты и гайки диаметром 13 мм. Края концентраторной пластины имеют скосы под углом 130 (рис. 2). Станина изготовлена из деревянных брусьев высотой 300 мм в форме прямоугольника (рамы), покрыта сверху декоративным пластиком. Тщательная герметизация стыков брусьев и пластика способствует созданию внутри растяжения (при работе всех 5 вентиляторов) для оптимальной вентиляции контейнера и электромагнитов. Соленоид-концентратор в нерабочем положении выдвигается по специальным направляющим для установки контейнера с животными.

Работа устройства для воздействия на биологические объекты ПМП происходит следующим образом. Напряжение 220 В, 50 Гц при включении автоматического выключателя АВ-1 поступает на обмотку автотрансформатора, состоящую из 14 одинаковых секций. С помощью переключателей П1 и П2 осуществляется ступенчатое изменение напряжения, подаваемого на выпрямитель, состоящий из диодов Д1, ..., Д4. Сопротивления R1 и R2 предназначены для предотвращения протекания тока короткого замыкания при ошибочных операциях с переключателями П1 и П2. На выходе выпрямителя для сглаживания пульсаций 6800 мкФ.

Подключение трех групп электромагнитов и концентратора-соленоида выпрямленного напряжения включена емкость С1, равная 6800 мкФ. Подключение трех групп электромагнитов и концентратора-соленоида к выпрямленному и сглаженному напряжению осуществляется с помощью тумблеров Т1, ..., Т4. Сопротивление R7 предназначено для установки тока 3-й группы соленоидов (состоящей из 6 электромагнитов), равного току 1-й и 2-й групп (состоящей из 8 электромагнитов каждая). С помощью переключателя П3 осуществ-

ляется изменение тока соленоида-концентратора, тем самым может быть подобрано оптимальное соотношение токов групп электромагнитов и тока соленоида-концентратора. Вся контрольно-измерительная аппаратура установлена в отдельном блоке.

Несмотря на несогласованность результатов проводимых исследователями работ в области магнитобиологии, отмечается, что реакции организма на изучаемый фактор разнообразны и определяются индивидуальными особенностями биологического объекта. Эмбриотропное действие поля может наблюдаться при индукции магнитного поля большей 10–20 мТл и ежедневной экспозиции 2 часа. Изменения на энцефалограмме наступают при индукции 15–25 мТл, выброс сератонина и катехоламинов наблюдается при значениях индукции порядка 400 мТл при экспозиции 1 час.

Процессы образования электромагнитных полей представлены в [1; 2] и в данной статье не рассматриваются.

В магнитобиологическом эксперименте исследование проводилось в четырех сериях в зависимости от интенсивности и длительности действия ПМП. Животные подвергались 30-суточному воздействию в первых двух сериях ПМП с величинами индукции 15 и 60 мТл и ежедневной экспозицией 1 час. Материалами для исследования были тимус, надпочечники.

Оценку их морфофункционального состояния проводили, используя комплекс морфологических, морфометрических гистохимических и цитохимических методов. В препаратах тимуса исследовали максимально возможную количественную информацию о размерах основных структурных зон тимуса, диаметров просвета сосудистого русла органа. Получены многомерные характеристики, определяющие морфофункциональное состояние органа при различных режимах воздействия ПМП в разные сроки исследования, и наиболее значимые показатели, отражающие удельный вклад в общую динамику процессов изменения морфофункционального состояния изучаемых объектов.

Для этого в работе нами применялась модификация метода системного многофакторного анализа по Котельников Г.П. и соавт., 2006.

## 2. Многофакторный анализ

Под системой понимается комплекс морфометрических, биохимических, иммунологических и

многих других показателей различных структурных элементов, объединенных процессом функционирования, которого нет у составляющих его элементов. Система, включающая элементы разных типов и обладающая разными связями между ними, называется сложной. Одной из важных задач изучения сложной системы является понимание ее функционирования. В упрощенном виде системный анализ – это методика, позволяющая не упустить из рассмотрения важные стороны и связи изучаемого объекта, процесса, явления.

В основе системного многофакторного анализа лежит вычисление обобщенных (интегральных) показателей по полученным единичным параметрам в различных периодах патологического процесса или стадиях заболевания. Для вычисления этих показателей многомерные количественные характеристики с несопоставимыми абсолютными значениями переводят в сопоставимые путем вычисления относительных разностей [3–6]:

$$j = (x_j - x_0) / x_0, \quad (1)$$

где  $j$  – относительная разность каждого из параметров;  $x_j$  – среднее арифметическое значение  $j$ -го показателя одной серии исследований;  $x_0$  – нормированное значение, принятое за норму среднего арифметического значения того же показателя.

Степень влияния отдельных показателей на функциональное состояние системы в целом оценивают по величине весового коэффициента (коэффициента влияния):

$$p_i = a / \sigma^2, \quad (2)$$

где  $a$  – постоянный множитель, выбираемый из удобства масштаба, а  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение, вычисляемое по формуле

$$\sigma^2 = (|m_i^2 - m_0^2|) / x_0^2, \quad (3)$$

где  $m_i$  – среднеквадратичное отклонение среднего арифметического значения каждого из показателей.

По полученным данным рассчитывают взвешенное среднее для каждой группы параметров. Это величина интегральная, характеризующая изучаемый процесс по заданному вектору (в относительных единицах):

$$\hat{X}_{Bi} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \hat{X}_i}{\sum_{i=1}^n p_i}. \quad (4)$$

Очень часто результаты медико-биологических исследований (иммунологические, гематологиче-

ские, морфометрические и др.) не подчиняются нормальному распределению. Нами предлагается в этих случаях для деления исследуемого фактора на интервалы или градации использовать медиану с верхним и нижним квартилями или процентилями в зависимости от необходимого числа групп. Кроме того, для получения несмещенных оценок интегрального показателя мы предлагаем исключить из исследуемой выборки экстремальные значения и выбросы [4–6].

Значения, находящиеся достаточно «далеко» от центра распределения, называются выбросами и экстремальными значениями, если они удовлетворяют следующим условиям (рис. 3).

1) Точка данных считается выбросом, если: значение в точке  $> 3ВГ + к.в. \cdot (3ВГ - 3НГ)$ , или значение в точке  $< 3НГ - к.в. \cdot (3ВГ - 3НГ)$ ,

где  $3ВГ$  – значение на верхней границе прямоугольника на диаграмме размаха (например, [среднее + стандартная ошибка] или [75-й перцентиль]);  $3НГ$  – значение на нижней границе прямоугольника на диаграмме размаха (например, [среднее – стандартная ошибка] или [25-й перцентиль]); к.в. – коэффициент выбросов.

2) Точка будет экстремальной, если для ее значения выполнено следующее:

значение  $> ВЗП + 2^*к.в. \cdot (ВЗП - НЗП)$ , или значение  $< НЗП - 2^*к.в. \cdot (ВЗП - НЗП)$ ,

где  $ВЗП$  – верхнее значение прямоугольника на диаграмме размаха (например, среднее + стандартная ошибка или 75-й перцентиль);  $НЗП$  – нижнее значение прямоугольника на диаграмме размаха (например, среднее – стандартная ошибка или 25-й перцентиль); к.в. – коэффициент выбросов (если он равен 1,5, то экстремальные значения находятся на расстоянии, большем утроенной разности верхнего и нижнего значений прямоугольника).

Мы предлагаем в случаях небольшого числа наблюдений или большого количества выбросов и экстремальных значений исключить из исследования наблюдения, значения которых меньше 5-го и больше 95-го перцентилей.

Использование медианы и перцентилей в качестве границ интервалов значений исследуемого показателя и исключение из исследования выбросов и экстремальных значений позволяют получить более однородные по количеству наблюдений группы.

Нами разработаны и применяется процедуры (файл-сценарии) для пакета статистических исследований SPSS одноименной фирмы и Microsoft

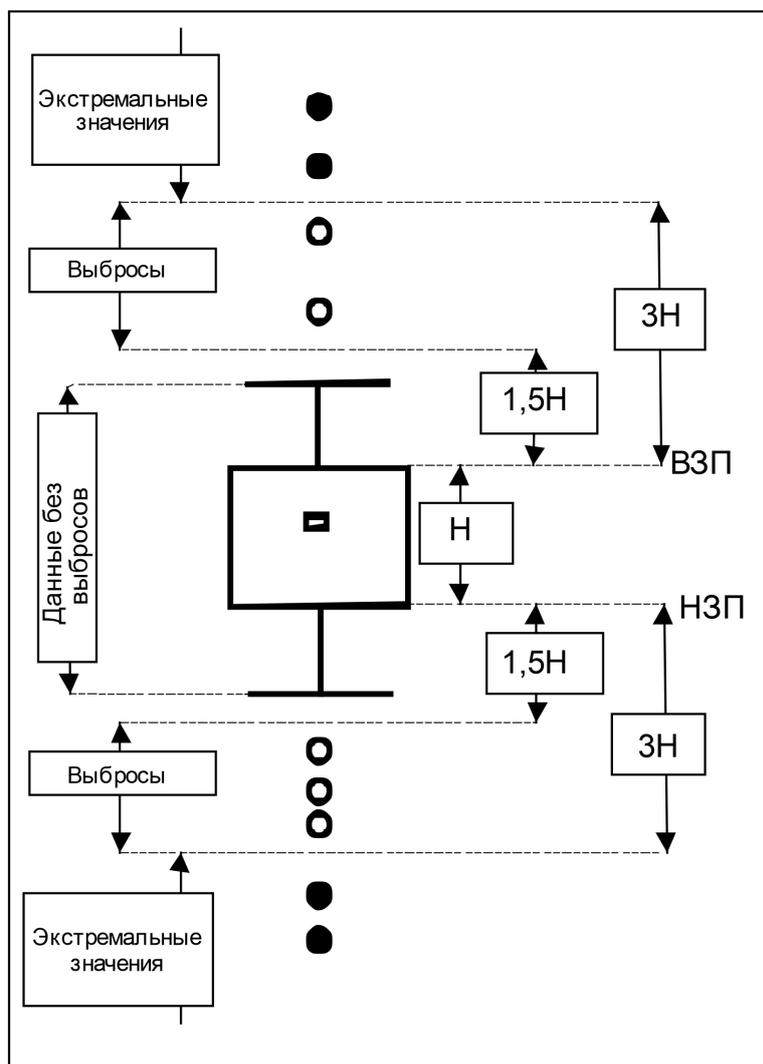


Рис. 3. Диапазоны выбросов и крайних точек на «классической» диаграмме размаха  
Fig. 3. Ranges of outliers and extreme points on the «classical» range diagram

Excel, позволяющие автоматизировать и стандартизировать процесс как подготовки данных, так и проведения системного многофакторного анализа. Это значительно сокращает затраты времени на проведение математического моделирования, унифицирует все этапы обработки данных и уменьшает число ошибок субъективного характера. Данная методика позволяет оценивать практически неограниченное число параметров в нескольких группах сразу [3].

### Заключение

Математическое моделирование изменений морфофункционального состояния коры надпочечников по одиннадцати биологическим параметрам в разные сроки воздействия нормированным ПМП при воздействии предельно допустимого уровня оценивалось по отклонению интерваль-

ного показателя и его нормированного значения [3–6]. Воздействие данного фактора приводило к отклонению интегрального показателя в клубочковой зоне надпочечников, на 30-е сутки оно составило  $6,53 \pm 1,30 \cdot 10^{-2}$ , в дальнейшем на 60-й день отклонение увеличилось на  $8,28 \pm 1,55 \cdot 10^{-2}$ , на 90-е –  $4,84 \pm 1,50 \cdot 10^{-2}$ , далее на 120-е сутки оно не отличалось от нормированного. В пучковой зоне надпочечников  $5,30 \pm 0,13 \cdot 10^{-2}$ , далее  $6,20 \pm 0,21 \cdot 10^{-2}$  и  $12,01 \pm 0,14 \cdot 10^{-2}$  соответственно. Изменения в структуре микроциркуляторного русла в различных зонах тимуса проявлялись частичным увеличением относительной площади сосудистого русла и расширением просвета структурных элементов гемомикроциркуляторного русла с явлениями истончения капилляров. После прекращения действия ПМП в сериях 15–30 мТл экспериментов морфофункциональное состояние тимуса возвращалось к норме.

## Список литературы

1. Неганов В.А., Табаков Д.П. Решение задач электродинамики на основе сингулярных интегральных представлений электромагнитного поля: теория антенн, дифракция электромагнитных волн, метаструктуры // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2016. Т. 19, № 3. С. 49–59. URL: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/7139>
2. Табаков Д.П., Майоров А.Г. О собственных значениях интегрального оператора сингулярного интегрального уравнения тонкого трубчатого вибратора // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2019. Т. 22, № 1. С. 26–31. DOI: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2019.22.1.26-31>
3. Морфологический анализ и математическое моделирование в изучении внутриорганной топографии кровеносных сосудов / П.А. Гелашвили [и др.]. Самара: Офорт, 2008. 223 с.
4. Влияние постоянного магнитного поля на вилочковую железу и надпочечники в магнитобиологическом эксперименте / И.Л. Слободянюк [и др.] // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: сб. статей XX Межд. научно-техн. конф., посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Пенза: Приволжский Дом знаний, 2020. С. 48–52.
5. Влияние постоянного магнитного поля на эндокринные железы биологического объекта (нормализация, системный многомерный анализ / В.А. Мачихин [и др.] // IV Научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2020. Физика и технические приложения волновых процессов ФИТПВП-2020: мат. XVIII Межд. научно-техн. конф. Самара: ПГУТИ, 2020. С. 248–249.
6. Использование индекса фрактальности в медико-биологических исследованиях / В.А. Мачихин [и др.] // IV Научный форум телекоммуникации: Теория и технологии ТТТ-2020. «Физика и технические приложения волновых процессов ФИТПВП-2020»: мат. XVIII Межд. научно-техн. конф. Самара: ПГУТИ, 2020. С. 246–247.

## Информация об авторах

**Слободянюк Игорь Леонидович**, полковник медицинской службы, кандидат медицинских наук, доцент Самарского государственного медицинского университета, г. Самара, Россия. Врач высшей категории, сертифицированный тренер тренажерного зала (Академия Life Fitness, г. Москва). 1 разряд по вольной борьбе.

*Область научных интересов:* спортивная медицина.

*E-mail:* savonarola256@yandex.ru

**Никольская Юлия Владимировна**, тренер-педагог детской юношеской спортивной школы «Икар», г. Саров, Россия. Заочный аспирант Пензенского государственного университета.

*Область научных интересов:* спортивная медицина.

*E-mail:* yuliya.nikolskaya.96@mail.ru

**Кисляев Сергей Евгеньевич**, кандидат технических наук, заведующий лабораторией аналитических комплексов и систем Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* спортивная медицина, биотехнологии, медицинские приборы.

*E-mail:* thegreatsteamgolem@yandex.ru

**Пичугина Полина Григорьевна**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры компьютерных технологий Пензенского государственного университета, г. Пенза, Россия.

*Область научных интересов:* математика, математическая статистика.

*E-mail:* polinapichugina@yandex.ru

**Антипова Татьяна Александровна**, кандидат технических наук, доцент кафедры физики Самарского государственного медицинского университета, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* фрактальный анализ, математическая статистика.

*E-mail:* antipovata81@gmail.com

*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-5499-2170>

**Матвеева Любовь Васильевна**, доктор медицинских наук, профессор кафедры иммунологии, микробиологии и вирусологии Медицинского института Национального исследовательского Мордовского государственного университета имени Н.П. Огарева, г. Саранск, Россия.

*Область научных интересов:* медицина.

*E-mail:* matveevaljubov1@mail.ru

**Мачихин Вячеслав Андреевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и информационной безопасности Самарского государственного технического университета, доцент кафедры радиоэлектронных систем Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* радиотехника, фрактальный анализ, медицинская техника.

*E-mail:* vmachihin@mail.ru

**Поляков Виктор Алексеевич**, кандидат медицинских наук, доцент кафедры реабилитологии, физиотерапии, курортологии и спортивной медицины Института повышения квалификации врачей Самарского государственного медицинского университета, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* реабилитология, физиотерапия, курортология и спортивная медицина.

*E-mail:* viktorpolyakov47@gmail.com

**Гаспаров Эрик Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры электронных систем и информационной безопасности Самарского государственного технического университета, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* радиотехника, математическое моделирование случайных процессов.

*E-mail:* ericgasparov@rambler.ru

**Майоров Андрей Геннадьевич**, инженер кафедры физики Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия.

*Область научных интересов:* математическое моделирование электромагнитных процессов, антенны.

*E-mail:* andreyka.mayorov.92@mail.ru

## Physics of Wave Processes and Radio Systems

2023, vol. 26, no. 3, pp. 123–131

DOI 10.18469/1810-3189.2023.26.3.123-131

UDC 303.722.22, 303.447.35, 537.636

Original Research

Received 9 March 2023

Accepted 10 April 2023

Published 27 September 2023

### A device for exposure to a permanent magnetic field and a system multifactorial analysis in a magnetobiological experiment

Igor L. Slobodyanyuk<sup>1</sup>, Yulia V. Nikolskaya<sup>2</sup>, Sergey E. Kislyayev<sup>3</sup>,  
Polina G. Pichugina<sup>4</sup>, Tatyana A. Antipova<sup>1</sup> , Lyubov V. Matveeva<sup>5</sup>,  
Vyacheslav A. Machikhin<sup>6</sup>, Viktor A. Polyakov<sup>1</sup>, Eric S. Gasparov<sup>6</sup>, Andrey G. Mayorov<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Samara State Medical University

89, Chapayevskaya Street,

Samara, 443099, Russia

<sup>2</sup> YSS «Ikar»

43, bldg. 2, Muzrukov Avenue,

Nizhny Novgorod Region, Sarov, 607182, Russia

<sup>3</sup> Samara National Research University

34, Moskovskoye shosse,

Samara, 443086, Russia

<sup>4</sup> Penza State University

40, Krasnaya Street,

Penza, 440026, Russia

<sup>5</sup> National Research Ogarev Mordovia State University

68, Bolshevistskaya Street,

Saransk, 430005, Russia

<sup>6</sup> Samara State Technical University

244, Molodogvardeyskaya Street,

443100, Samara, Russia

<sup>7</sup> Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics

23, L. Tolstoy Street,

Samara, 443010, Russia

**Abstract – Background.** Interest in the biological effects of electromagnetic radiation on biological objects is associated with the possibility of their use in solving a number of fundamental and applied problems: from the consideration of biological feedbacks in real time, which allows the development of electronic medical complexes, to the creation of neuro-computer interfaces, including components of living cells. **Aim.** The paper shows the development of a device for influencing biological objects with a permanent magnetic field, which allows modeling the basic parameters of the physical factor, for conducting a magnetobiological experiment with normalization of the effects of non-ionizing radiation of the specified parameters. **Methods.** The device for influencing biological objects of constant magnetic field allows to obtain, in a large volume, the most homogeneous magnetic field. **Results.** Mathematical modeling of changes in the morphofunctional state of the adrenal cortex according to eleven biological parameters at different periods of exposure to normalized constant magnetic field when exposed to the maximum permissible level was evaluated by the deviation of the interval indicator and its normalized value. The effect of this factor led to a deviation of the integral index in the glomerular zone of the adrenal glands on the 30th day was  $-6,53 \pm 1,30 \cdot 10^{-2}$ , later on the 60th day the deviation increased by  $8,28 \pm 1,55 \cdot 10^{-2}$ , on the 90th  $4,84 \pm 1,50 \cdot 10^{-2}$ , then on the 120th day, it did not differ from normalized. **Conclusion.** After the termination of the constant magnetic field in a series of 15–30 mT experiments, the morphofunctional state of the thymus returned to normal. Thus, the device is recommended for use in experimental activities.

**Keywords** – effects of magnetic fields, multifactorial analysis, magnetobiological experiment.

## References

1. V. A. Neganov and D. P. Tabakov, "Solving problems of electrodynamics on the basis singular integral presentations of the electromagnetic field: antennas theory, the diffraction of electromagnetic waves, metastructures," *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, vol. 19, no. 3, pp. 49–59, 2016, url: <https://journals.ssau.ru/pwp/article/view/7139>. (In Russ.)
2. D. P. Tabakov and A. G. Mayorov, "Eigenvalues of integral operator of the singular integral equation for a thin tubular vibrator antenna," *Physics of Wave Processes and Radio Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 26–31, 2019, doi: <https://doi.org/10.18469/1810-3189.2019.22.1.26-31>. (In Russ.)
3. P. A. Gelashvili et al., *Morphological Analysis and Mathematical Modeling in the Study of Intraorgan Opography of Blood Vessels*. Samara: Ofort, 2008. (In Russ.)
4. I. L. Slobodyanyuk et al., "The influence of a constant magnetic field on the thymus and adrenal glands in a magnetobiological experiment," in *Problemy informatiki v obrazovanii, upravlenii, ekonomike i tekhnike: sb. statey XX Mezhd. nauchno-tekhn. konf., posvyashchennoy 75-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne*. Penza: Privolzhskiy Dom znaniy, pp. 48–52, 2020. (In Russ.)
5. V. A. Machikhin et al., "The influence of a constant magnetic field on the endocrine glands of a biological object (normalization, systemic multidimensional analysis)," in *IV Nauchnyy forum telekommunikatsii: Teoriya i tekhnologii TTT-2020. «Fizika i tekhnicheskie prilozheniya volnovykh protsessov FITPVP-2020»: mat. XVIII Mezhd. nauchno-tekhn. konf.* Samara: PGUTI, pp. 248–249, 2020. (In Russ.)
6. V. A. Machikhin et al., "Use of the fractality index in biomedical research," in *IV Nauchnyy forum telekommunikatsii: Teoriya i tekhnologii TTT-2020. «Fizika i tekhnicheskie prilozheniya volnovykh protsessov FITPVP-2020»: mat. XVIII Mezhd. nauchno-tekhn. konf.* Samara: PGUTI, pp. 246–247, 2020. (In Russ.)

## Information about the Authors

**Igor L. Slobodyanyuk**, Colonel of the medical service, Candidate of Medical Sciences, associate professor of the Samara State Medical University, Samara, Russia. Doctor of the highest category, certified gym trainer (Life Fitness Academy, Moscow). 1 category in freestyle wrestling.

*Research interests:* sports medicine.  
*E-mail:* savonarola256@yandex.ru

**Yulia V. Nikolskaya**, coach-teacher of the Children's Youth Sports School «Ikar», Sarov, Russia. Correspondence graduate student of the Penza State University.

*Research interests:* sports medicine.  
*E-mail:* yuliya.nikolskaya.96@mail.ru

**Sergey E. Kislyayev**, Candidate of Technical Sciences, head of the Laboratory of Analytical Complexes and Systems, Samara National Research University, Samara, Russia.

*Research interests:* sports medicine, biotechnologies, medical devices.  
*E-mail:* thegreatsteamgolem@yandex.ru

**Polina G. Pichugina**, Candidate of Pedagogical Sciences, associate professor of the Department of Computer Technologies, Penza State University, Penza, Russia.

*Research interests:* mathematics, mathematical statistics.  
*E-mail:* polinapichugina@yandex.ru

**Tatyana A. Antipova**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Physics, Samara State Medical University, Samara, Russia.

*Research interests:* fractal analysis, mathematical statistics.  
*E-mail:* antipovata81@gmail.com  
*ORCID:* <https://orcid.org/0000-0001-5499-2170>

**Lyubov V. Matveeva**, Doctor of Medical Sciences, professor of the Department of Immunology, Microbiology and Virology, National Research Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia.

*Research interests:* medicine.  
*E-mail:* matveevaljubov1@mail.ru

**Vyacheslav A. Machikhin**, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Electronic Systems and Information Security, Samara State Technical University, associate professor of the Department of Radioelectronic Systems, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* radio engineering, fractal analysis, medical technology.  
*E-mail:* vmachihin@mail.ru

**Viktor A. Polyakov**, Candidate of Medical Sciences, associate professor of the Department of Rehabilitation, Physiotherapy, Balneology and Sports Medicine, Institute of Advanced Training of Doctors, Samara State Medical University, Samara, Russia.

*Research interests:* rehabilitation, physiotherapy, balneology and sports medicine.  
*E-mail:* viktorpolyakov47@gmail.com

**Eric S. Gasparov**, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Electronic Systems and Information Security, Samara State Technical University, Samara, Russia.

*Research interests:* radio engineering, mathematical modeling of random processes.  
*E-mail:* ericgasparov@rambler.ru

**Andrey G. Mayorov**, Engineer of the Department of Physics, Povolzhskiy State University of Telecommunications and Informatics, Samara, Russia.

*Research interests:* mathematical modeling of electromagnetic processes, antennas.  
*E-mail:* andreyka.mayorov.92@mail.ru