

УДК 550.38

Г. В. Ломаев, д-р техн. наук, проф.

М. С. Емельянова, магистрант

E-mail: [ems1988@mail.ru](mailto:ems1988@mail.ru)

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

## Генератор магнитных полей для магнитобиологических опытов

В статье предложен генератор магнитных полей для проведения магнитобиологических опытов, позволяющий многократно уменьшить время опыта. Генератор создает в рабочем пространстве  $(x, y, z)$  магнитное поле, градиентное в одной плоскости  $(x, y)$  и постоянное в другой (например,  $y, z$ ), для любого значения ординаты  $x$  рабочего пространства биологического опыта, при этом поле может устанавливаться с инверсией и проходить через линию «магнитного вакуума».

**Ключевые слова:** магнитобиология, магнитное поле, «магнитный вакуум», катушки Гельмгольца.

### Введение

Магнитное поле – важный инструмент для научных исследований и промышленных приложений, таких как физика твердого тела, химия, медицина и физика высоких энергий. Для реализации медико-биологических исследований используется два вида магнитного поля (МП): непрерывное и импульсное. По сравнению с первым, импульсное имеет гораздо более высокую напряженность поля и будет играть практическую роль в исследованиях, связанных с высокой напряженностью поля. Для реализации исследований с медико-биологическими объектами используются слабые магнитные поля, связанные с получением «магнитного» вакуума, при котором значение поля близко к нулю [1–6].

Известно, что слабые магнитные поля создаются с использованием катушек Гельмгольца (КГ), которые также создают эталонные магнитные поля, поэтому если соблюсти геометрические размеры при изготовлении КГ для магнитобиологических опытов, то можно получить значение «вакуума» магнитного поля с очень большой точностью. В этом случае основная погрешность задания магнитного поля, а в дальнейшем получение точки «магнитного вакуума», будет определяться погрешностью измерителя тока [6, 7].

Целью работы являлось создание генератора магнитного поля для реализации магнитобиологических опытов в режиме «магнитного вакуума» с получением зависимости «доза-эффект».

### Сведения из теории

Модуль магнитной напряженности поля Земли в пространстве координат  $(x, y, z)$  равен

$$H_3 = \sqrt{H_x^2 + H_y^2 + H_z^2}, \quad (1)$$

где  $x, y$  – декартовы координаты в плоскости горизонта;  $z$  – вертикальная координата;  $H_x, H_y, H_z$  – вектора напряженности поля на эти оси.

Вектор поля лежит в плоскости Север – Юг под углом к горизонту, который зависит от географических координат. Для Ижевска это  $73^\circ$ . В опытах с гипогеомагнитными полями модуль вектора поля необходимо либо уменьшать до нуля, т. е. создавать так называемый магнитный вакуум, либо частично скомпенсировать. Последнее важно для определения зависимости «доза – эффект» в экологии. В классических опытах задача решается с помощью трех пар катушек Гельмгольца, оси которых расположены параллельно проекциям поля Земли на координаты  $(x, y, z)$ .

В своих исследованиях мы используем одну пару КГ, ось которой параллельна вектору поля Земли. Если опыт проводится в квадратных КГ, тогда одна из их граней расположена в плоскости Север – Юг, а ее ось под углом  $73^\circ$ . Магнитобиологические опыты в экологии требуют повторения большого числа экспериментов при определении зависимости «доза – эффект». Это «растягивает» опыты на длительное время. Например, для получения десяти точек зависимости динамики онтогенеза от величины магнитного поля в опытах с эмбрионами цыплят требуется более 210 суток (время развития эмбриона 21 сутки). Ускорение процедуры можно осуществить путем параллельного эксперимента. Но это требует значительного увеличения финансовых вложений. А в ряде случаев приходится жертвовать качеством получаемой информации, уменьшая статистическую выборку.

При разработке генератора для магнитобиологических опытов стоит учитывать:

- генерирование МП разных степеней ослабления в эксперименте с биообъектами разного уровня организации;
- обеспечение магнитного поля в одном опыте с инверсией направления в разных частях пространства и с переходом через линию «магнитного вакуума» по координате  $x$ .

- диапазон изменений магнитного поля генератора не должен быть меньше величины поля Земли, т. е. 50 мкТл (примерно 45 А/м);
- величина поля для постоянного значения координаты  $z$  по направлению  $y$  должна устанавливаться с заданной погрешностью, которая в свою очередь обуславливается особенностью биологического опыта.

### Принцип построения генератора магнитного поля

Если расположить проводник перпендикулярно плоскости Север – Юг, то одна из проекций вектора поля Земли будет равна нулю ( $H_z = 0$ ). Кроме того, необходимо расположить одну из плоскостей генератора перпендикулярно вектору поля Земли (для Ижевска  $73^\circ$ ), т. е. и вторую проекцию сделать равной нулю ( $H_x = 0$ ). При выполнении этих условий поле  $H$  будет параллельно полю Земли ( $H_3 = H_y$ ).

Результаты расчета магнитного поля  $H(x, 0)$  в пространстве между проводниками, удаленными на расстояние 1 м друг от друга, для различных токов (в нашем случае  $I_1$  и  $I_2$ ) приведены на графике (рис. 1).

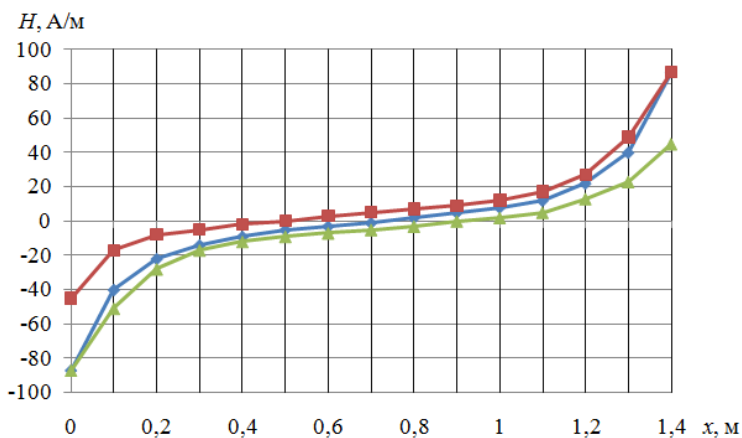


Рис. 1. Поле между проводниками при различных токах:

- ◆—  $I_1=I_2$ ,
- $I_1=0,5I_2$ ,
- ▲—  $I_2=0,5I_1$ .

Как видно из приведенных графиков, в пространстве между проводниками есть зона с полями, близкими к нулю, которые можно перемещать, меняя токи в проводниках. Рассмотренный принцип позволяет рассчитать величину токов  $I_1$  и  $I_2$  (а значит и напряженности магнитного

поля от проводников) в каждом конкретном варианте, исходя из необходимой степени ослабления магнитного поля Земли, градиента и точки положения на оси  $x$  «магнитного вакуума».

### Результаты и их обсуждение

Для создания установки, генерирующей градиентное поле, используются две пары катушек Гельмгольца, расположенные соответствующим образом в пространстве.

Экспериментальная кривая распределения магнитного поля в генераторе и за его пределами с учетом вертикальной составляющей МП Земли представлена на рис. 2.

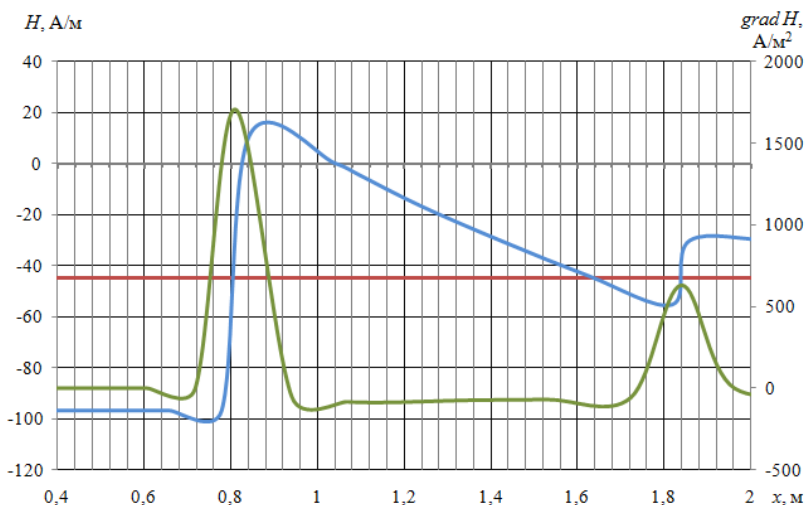


Рис. 2. График распределения МП в генераторе:  
— значение напряженности МП Земли,  
— изменение нормальной составляющей МП,  
— градиент напряженности МП

Из представленной зависимости видно изменение нормальной составляющей МП в рабочем объеме генератора с переходом через инверсию поля.

### Выводы

Таким образом, для решения задачи проведения опыта при длительных сроках онтогенеза эмбриональной стадии биообъекта разработан

многоуровневый генератор на основе градиентного источника магнитного поля, позволяющий создать градиент магнитного поля в горизонтальной плоскости при постоянной вертикальной составляющей. Применение многоуровневого генератора позволило бы сократить время экспериментов более чем в пять раз.

*Работа выполнена при поддержке ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М. Т. Калашикова» в рамках научного проекта № ШАВ/20-67-21.*

### Список литературы

1. Бинги, В. Н. Первичный физический механизм биологических эффектов слабых магнитных полей / В. Н. Бинги // Биофизика. – 2016. – Т. 61, № 1. – С. 170–176.
2. Карауш, С. А. Влияние металлических фасадных систем на геомагнитное поле внутри помещений / С. А. Карауш // Вестник ТГАСУ. – 2013. – № 1 (38). – С. 83–87.
3. Розов, В. Ю. Внешнее магнитное поле городских трансформаторных подстанций и методы его нормализации / В. Ю. Розов, Д. Е. Пелевин, Е. Д. Кундиус // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2018. – № 3. – С. 59–67.
4. Создание однородного магнитного поля с помощью системы аксиальных катушек для калибровки магнитометров / В. Е. Баранова, П. Ф. Баранов, С. В. Муравьев, С. В. Учайкин // Измерительная техника. – 2015. – № 5. – С. 52–56.
5. Майер, В. В. Демонстрация действия магнитного поля на магнитный диполь / В. В. Майер // Физическое образование в вузах. – 2018. – Т. 24, № 3. – С. 56–62.
6. Методика сокращения продолжительности магнитобиологических опытов в гипогеомагнитных полях / Г. В. Ломаев, М. С. Емельянова, А. С. Соловьева, Я. Ю. Кочарян // Интеллектуальные системы в производстве. – 2015. – № 2 (26). – С. 102–106.
7. Влияние слабых магнитных полей в разные фазы регенерации планарий / Х. П. Тирас, О. Н. Петрова, С. Н. Мякишева, С. С. Попова, К. Б. Асланиди // Биофизика. – 2015. – Т. 60, № 1. – С. 158–163.

*G. V. Lomaev*, DSc in engineering, professor

*M. S. Emelyanova*, magister student

E-mail: [ems1988@mail.ru](mailto:ems1988@mail.ru)

Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russian Federation

## **Magnetic Field Generator for Magnetobiological Experiments**

*The article proposes a generator of magnetic fields for conducting magnetobiological experiments, which allows to reduce the experiment time many times. The generator creates a magnetic field in the working space  $(x, y, z)$ , which is gradient in one plane  $(x, y)$  and constant in the other (for example,  $y, z$ ), for any value of the ordinate  $x$  of the working space of biological experience, and the field can be set with inversion and pass through the line of “magnetic vacuum”.*

**Keywords:** magnetobiology, magnetic field, “magnetic vacuum”, Helmholtz coils.