

ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

BIOLOGICAL EFFECTS OF EM FIELDS

*В. В. АЛЕКСАНДРОВ, Д. А. УСТАВНИКОВ, Н. В. КОРОВКИН,
Е. С. СЛУЦКИЙ, Ю. М. БАЛАГУЛА*

Санкт-Петербургский государственный технический университет

ДЕЙСТВИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПОВЕДЕНИЕ И ДВИГАТЕЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ГИДРОБИОНТОВ

Реферат. Действие электромагнитных полей на двигательную активность водных организмов. Стресс гидробионтов при кратковременном индуцировании комбинированных низкочастотных магнитных полей. Метод регистрации двигательной активности на основе фрактального подхода к обработке контрастных изображений движущихся объектов.

1. Введение

В 1979-1984 гг. В. Александров и др. показали, что биоэлектрические поля морского и озерного планктона являются индикатором его суточных миграций и связаны с геомагнитными ритмами по местному времени. Эти данные были подтверждены в результате изучения тонкой структуры электрических полей (ΔE), генерируемых рыбами в аквариуме (1986–1995). Была высказана гипотеза о возможной синхронизации ритмов вертикальных перемещений зоопланктона под воздействием электромагнитного поля Земли, суточный ритм которого также обусловлен планетарными магнитосферными процессами [1-3].

При геомагнитных возмущениях в лабораторных условиях зарегистрировано угнетение двигательной активности (ДА) карповых рыб *Cyprinidae*. С помощью Фурье анализа удалось найти характерные биоритмы в часовом диапазоне, где отмечается уменьшение или полное подавление ДА рыб во время магнитной бури. Модельные эксперименты в слабых магнитных полях с индукцией 5-200 нТл, частотой поля 0,1-10 Гц показали, что

гидробионты теряют свое устойчивое поведение, адаптация не наблюдается [4].

2. Материалы и методы

В мировой практике исследования действия неионизирующего электромагнитного излучения на биосферу накоплен значительный опыт по оценке влияния высокочастотных и сильных полей, отмечена высокая чувствительность водных сообществ к действию электромагнитных полей. Напротив, в области ультранизкочастотных и сверхнизкочастотных электромагнитных излучений проблема реакций живых организмов на техногенное воздействие плохо изучена и далека от разрешения. Особый интерес представляют поведенческие реакции и активность рыб, подверженных действию электрических и магнитных полей при различных температурных режимах.

Исследовано действие переменного магнитного поля на карповых рыб (*Cyprinidae*). Физиологическими тестами являлись ДА и биоритмы поведенческих реакций. Функция спектральной плотности $G(f)$, обусловленная ДА, вычислялась по пульсациям электрических сигналов $\Delta\phi$, генерируемых рыбами при движении в аквариуме (электрометрический метод).

Спектр процесса движения рыб носит шумовой характер, причем наблюдается уменьшение $G(f)$ с ростом частоты. Типичные спектры ДА приведены на рис 1,а,б.

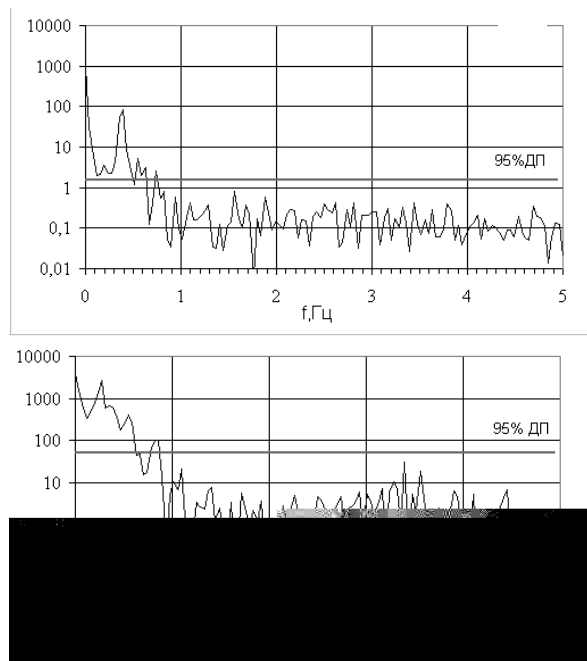


Рис. 1

В результате этих исследований впервые удалось инструментально обнаружить на организменном уровне *in vivo* возникновение ответной поведенческой реакции рыб на действие слабых магнитных полей индукции 200-1000 нТл с частотой 1-10 Гц. Выполненный гармонический анализ и полученные спектральные характеристики, позволяющие отличить гидродинамические турбулентные поля от электрокинетических полей, обусловленных физиологией и ДА гидробионтов, а также выявить степенной закон распределения флуктуаций этих полей по частотам $G(f) \sim f^{-n}$.

Измерения при кратковременном воздействии и высокой скорости регистрации (дискретность измерений 10^{-3} с) позволили получить спектральные характеристики активности при свободном движении и поведении, при индукционных воздействиях и последующем отдыхе рыб, что позволило выявить начало и конец ответной физиологической реакции на воздействие, показать подавляющее и угнетающее дей-

ствие излучения слабых электромагнитных полей.

Зафиксированы микропульсирующие естественные биоритмы активности, прослежена их модуляция и смещение в другие частотные окна при воздействии магнитной индукции разных уровней и частоты, т. е. наблюдалось своеобразное “управление“ биоритмами организмов.

Полученные результаты доказывают важность роли слабого магнитного поля в изменении физиологии поведения рыб ($\Delta B \sim 50-1000$ нТл, $f \sim 1-10$ Гц), аналогичные данным по биохимическим показателям, были зафиксированы *in vitro* (Россия) для белков и растворов различной степени сложности и концентраций [5]. Этот результат обосновывает перспективу для последующих экспериментов с различными видами водных организмов от планктона до млекопитающих.

В настоящее время мы исследуем физиологию поведения новой популяции варианта золотой рыбки *Carassius auratus japonicus flabellicaudatus*, Slutsky, 1985, которую культивируем с 1970 г. на основе близкородственного скрещивания организмов, имеющих общих предков (жесткий инбридинг). В каждом экспериментальном поколении общность происхождения особей увеличивает вероятность наличия у них одних и тех же структурных состояний гена (аллелей), которые поддерживались специально в трех чистых линиях.

Для исследований было создано специальное стадо производителей, потомки которых исследовались по различным возрастным группам - личинки, молодь, взрослые особи. Число особей по различным аллелям, смешанным генетическим группам и отдельным генерациям составляло одновременно не менее 350 экземпляров. Поведение этих рыб и исследовалось после воздействия электромагнитных полей различной интенсивности и частоты.

В лаборатории, нами изучалось комбинированное действие полей на физиологическую активность рыб. Такое ком-

бинированное магнитное поле включает в себя квазипостоянную составляющую $\Delta \bar{B}_z = 48 \pm 0.6 \text{ мкТл}$ и переменную составляющую

$\Delta B \approx 200 \pm 6 \text{ мкТл}$, $f = 0.1 - 10 \text{ Гц}$. Необходимое магнитное поле создавалось соленоидом, который хорошо виден на фотографии установки (рис. 2).



Рис. 2

Необходимо отметить, что использование электрометрического метода регистрации ДА рыб в аквариумных условиях имеет определенные недостатки:

- система индикаторных электродов, безусловно, искажает естественный фон флуктуаций электромагнитного поля;
- неизбежные диффузионно-адсорбционные процессы на электродах вызывают их поляризацию и необходимость постоянно учитывать систематический дрейф собственного электродного потенциала;
- неизбежность электрических помех на измерительных линиях.

В связи с этим появляется необходимость разработки новых методов регистрации ДА живых объектов, свободных от указанных недостатков.

3. Регистрация ДА на основе обработки изображений

Для регистрации ДА может быть предложен подход, основанный обработке оптических изображений, полученных с помощью цифровой камеры, снимающей движение рыб, которые далее обрабатываются компьютером. Как показывают исследования, выполненные электрометрическим методом, для уверенной регист-

рации всех аспектов движения рыб, выбранных нами для исследования достаточно обеспечить частоту следования кадров 10 Гц при разрешении в один мегапиксель. Обработка таких объемов информации вполне доступны современным компьютерам.

Методы обработки оптических изображений избавлены от недостатков электрометрического метода, так как не требуют введения в аквариум электродов и не подвержены электромагнитным помехам. Метод также не оказывает влияния на поведение рыб, так как световая чувствительность цифровых матриц такова, что позволяет вести съемку при нормальном для рыб освещении.

В то же время, регистрация ДА по оптическим изображениям требует создания специальных алгоритмов обработки движущихся изображений. Эти алгоритмы должны однозначно сопоставить ДА рыб, зарегистрированной цифровой камерой, некоторую количественную характеристику.

Современными и эффективными методами анализа изображения являются методы теории фракталов [6-8]. Рассмотрим далее применение этих методов для получения количественных характеристик ДА рыб.

На рис. 3 представлены три предварительно обработанных последовательных во времени изображения рыб в аквариуме, выполненные цифровой камерой. После передачи изображений в компьютер они были переведены в черно-белый формат таким образом, что каждому пикселю изображения соответствовал один бит, значение которого 0 или 1, соответствует белому и черному цветам. Далее, с целью удаления мелких несущественных деталей, изображение было «очищено» с помощью следующего алгоритма. Если некоторый черный пиксель, при рассмотрении его на 9-и точечной матрице, имеет 7 или более «белых» соседей, то он объявляется белым, и наоборот, если некоторый белый пиксель имеет 7 или более «черных» соседей, то он объявляется черным.

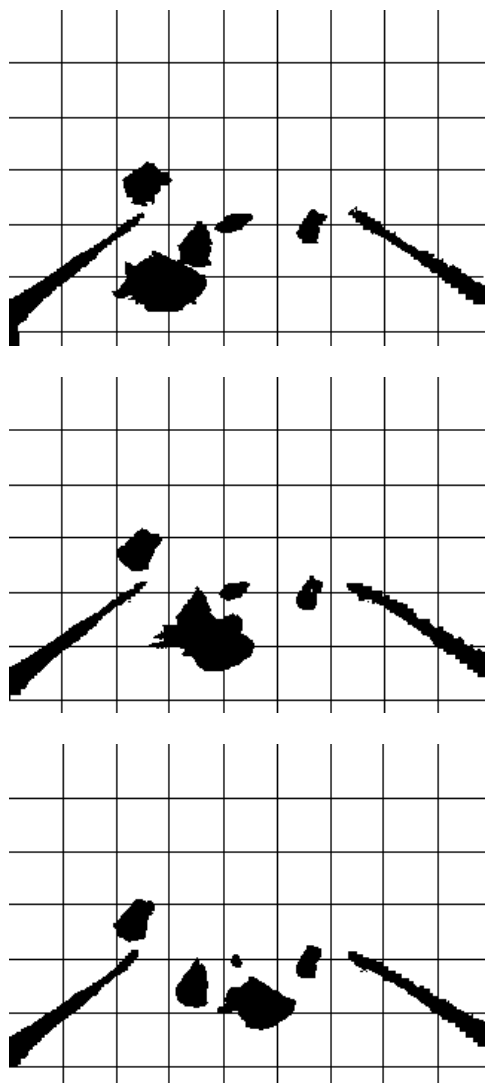


Рис. 3

На изображения, представленные на рис. 3, нанесена сетка, позволяющая видеть движение объектов относительно узлов и линий сетки. Вытянутые наклонные неподвижные объекты на рис. 3 соответствуют «ребрам» аквариума, а перемещающиеся пятна – рыбам. Отметим, что число рыб кажется не постоянным, так как они могут заслонять друг друга. Важным достоинством рассматриваемого далее алгоритма является то, что, ни наличие неподвижных элементов изображения, ни изменение степени его связности не препятствует его работе.

Предположим, что в каждой точке пересечения линий сетки, нанесенной на изображения, помещен датчик, регистрирующий цвет пикселя, находящегося в этой точке. Пусть, показание k -го датчика

$x_k(t_i)$ в некоторый момент времени t_i равно 1, если цвет пикселя черный и 0 в противном случае. Рассмотрим функцию

$$f(t_i) = \sum_{k=1}^{k=N} x_k(t_i), \quad (1)$$

где N – число датчиков, а индекс i определяет номер кадра. Функция f вследствие движения элементов изображения будет иметь шумоподобный вид и характеризует ДА элементов изображения. Естественно предположить, что, как и для большинства шумов естественного происхождения, этот шум имеет фрактальную природу [7,8]. В пользу этого предположения свидетельствует и степенной характер спектров, обнаруженный при исследованиях электрометрическим методом. Следовательно, для анализа временного ряда $f(t_i)$ можно применить метод нормированного размаха и определить показатель Херста H [8]. Показатель Херста характеризует «изрезанность» рельефа функции $f(t_i)$ и определяется из соотношения

$$R/S = (\tau/2)^H \quad (2)$$

где S – стандартное отклонение ряда $f(t_i)$, τ – длина обрабатываемого отрезка времени,

$$R(\tau) = \max X(t, \tau) - \min X(t, \tau), \quad (3)$$

$X(t, \tau)$ – накопившееся отклонение функции $f(t_i)$ от ее среднего значения $\langle f \rangle_\tau$ за время τ :

$$X(t, \tau) = \sum_{u=1}^t \{f(u) - \langle f \rangle_\tau\}. \quad (4)$$

Отфильтровав составляющую, связанную с характерным размером аквариума, можно величиной H характеризовать ДА на различных интервалах времени. При этом большей ДА соответствует более «изрезанный» вид функции $f(t_i)$ и, соответственно, меньшее значение показателя Херста. Альтернативной характеристикой может быть угол α наклона гистограммы значений f , построенной в билогарифми-

ческом масштабе. Для исследования свойств функции f и, соответственно ДА рыб, могут быть использованы также и классические методы Фурье и вейвлет-анализа, что позволяет, как и при использовании электрометрического метода, выявлять периодические компоненты в поведении рыб.

Отметим, что суммирование в (1) можно вести по некоторым подмножествам значений индекса k , например соответствующим верхней и нижней частям аквариума. В этом случае мы получим возможность сопоставлять ДА рыб в различных частях аквариума. Аналогично, суммирование по различным подмноже-

ствам значений индекса i позволяет сопоставлять поведение рыб на различных временных интервалах.

Рассмотрение функции f как некоторого временного ряда позволяет с помощью хорошо развитых методов регрессионного анализа строить математические модели поведения рыб. Такая возможность является новой и весьма перспективной, так как позволяет малым (3-4) числом экспериментально определяемых параметров описать поведение весьма сложного биологического сообщества и количественно оценивать влияние на его поведение практически любых факторов.

Литература

1. В.В.Александров, Л.А.Кутикова. Суточные миграции гидробионтов как индикатор связи между биологическими и геомагнитными ритмами в системе солнечно-земных связей. Биофизика, 29, стр. 1025-1030.
2. В.В.Александров. Электрофизика пресных вод. Л: Гидрометеиздат. 1985.-184 с.
3. V.Alexandrov. Electrocinetic fields of hydrobionts. Biorhythms of Locomotor activity. Connection with Geomagnetism //Pergamon press-biophysics, Elsevier Science Ltd. Printed in Great Britain, vol. 40, №4, pp. 753-759, 1996.
4. V.V.Alexandrov. Environmental Electromagnetic Fields and Motional Activity of Aquatic Organisms // Proceedings 4th Congress of the European Bioelectromagnetics Association, Zagreb-Croatia, November 19-21, 1998, p. 103-105.
5. Биофизика. 1999. Т.44. вып.2. С.224-230.
6. K.Falconer, Fractal Geometry, J.Wiley& Sons.: N.Y. 1990. -287 p.
7. A.Bunde, S.Havlin, Fractals and disordered system, Springer.: Berlin, 1996. -408 p.
8. J.Feder, Fractals, Plenum Press.: N.Y, 1988. -177 p.

В. Н. НИКИТИНА

Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья

ПУТИ ГАРМОНИЗАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ СТАНДАРТОВ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Abstract. The report is devoted to the problem of harmonizing the national and international hygienic standards in the field of electromagnetic radiation. From positions of the methodology for hygienic standardizing the electromagnetic factor approved in Russia the ICNIRP criteria are considered.

Разница в значениях предельно допустимых уровней ЭМП, принятых в различных странах и Международных организациях, обусловлена несовпадением методологических подходов к нормированию электромагнитных полей. Но первым этапом на пути гармонизации стандартов должно быть упорядочение терминов и определений.

Так, например, различны названия установленных регламентов: предельно допустимые уровни, допустимые уровни, контролируемые уровни, основные ограничения. Требуется унификация таких понятий, как опасное воздействие, вредное воздействие, порог вредного действия, порог безвредного действия, пороговая величина. В разных странах различен

и юридический статус предельно допустимого уровня ЭМП: носит он рекомендательный или обязательный характер, в последнем случае требования к разработке стандарта более жесткие. В России, например, в соответствии с Законом о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения, нарушение ПДУ влечет за собой дисциплинарную, административную и уголовную ответственность.

Критерии, рекомендуемые ICNIRP для оценки научной литературы и разработки стандартов, регламентирующих уровни ЭМП, могут быть базой для выработки унифицированных подходов к регламентированию электромагнитного фактора. Вместе с тем, в ряд положений документа ICNIRP целесообразно внести некоторые дополнения и уточнить. Первый комментарий к критериям ICNIRP – регламенты могут устанавливаться только на основании, специальных, исследований, а не на основе анализе научных публикаций. В силу объективных причин, результаты фрагментарных работ по биоэффектам ЭМП, полученные различными исследователями, нередко противоречивы, выявленные изменения носят разнонаправленный характер. Эти сведения необходимо принимать во внимание, но не они должны быть определяющими при установлении ПДУ. Исследования по обоснованию ПДУ должны быть целенаправленными состоять из нескольких взаимосвязанных этапов: гигиенического, экспериментального и эпидемиологического и выполняться учеными (учреждениями), имеющими опыт гигиенического регламентирования. В России, например, исследования по научному обоснованию ПДУ выполняются только научные учреждения, аккредитованные Минздравом. В порядке дискуссии: может быть и в рамках международного сообщества определить перечень учреждений, которые по согласованной методологии будут осуществлять разработку международных регламентов ЭМП.

Требования ICNIRP к проведению высококачественных лабораторных исследо-

ваний по обоснованию ПДУ следует дополнить требованием к модели эксперимента, в частности избранным параметрам облучения (какие реально существующие условия воздействия ЭМП на человека будут изучаться) и биологическому объекту (животному). И тот, и другой аспект моделирования существенны для экстраполяции данных с животного на человека.

В критериях ICNIRP отсутствуют требования к продолжительности хронического эксперимента. Ведь именно хронический эксперимент лежит в основе регламента. В России установлено, что продолжительность хронического эксперимента на лабораторных животных (крысы, мыши и др.) должна быть не менее 4-х месяцев облучения плюс период последнего действия в случае установления ПДУ для персонала и не менее 5-6 месяцев при установлении ПДУ для населения плюс период последствия

Дискуссионным является требование ICNIRP по воспроизводимости полученных результатов другими исследователями. Теоретически точное воспроизведение биоэффекта ЭМП другими исследователями (в других лабораториях) возможно, но практически не реально. По современным научным данным слишком много факторов, которые могут влиять на отклик организма: E и H поляризация, градиент напряженности поля, длительность импульса и частота следования особенности модуляции, состояние освещенности, температура воздуха, другие условия эксперимента, а также особенностей функционирования биологических объектов. Даже в одной лаборатории специалистам не всегда удается точно воспроизвести результаты магнитобиологических исследований вследствие динамичности временной организации функций в биологическом контроле. Поэтому каждое экспериментальное исследование по биологическому действию электромагнитных излучений является уникальным. В критериях должны быть определены обязательные и рекомендуемые тесты. Обязательным должно быть изучение отдаленных

последствий воздействия ЭМП (канцерогенные, мутагенные, атерогенные, геронтологические эффекты). Я привела здесь некоторые аргументы для разъяснения своей позиции, которая состоит в том, что требования к лабораторным экспериментам должны быть изложены более детально.

Очень важный этап процесса гигиенического регламентирования проведение оценка данных эпидемиологических исследований. В критериях основное внимание уделено оценке риска раковых заболеваний и не учитываются заболевания, занимающее ведущее место в клинической картине воздействия ЭМП. Это функциональные нарушения ЦНС (астенические, невротические, вегетативные реакции), сердечно-сосудистой системы (прежде всего нейроциркуляторные дистонии), ранее старение организма.

Требуется обсуждения правомерность использования SAR – удельной поглощенной мощности - как гигиенического регламента. При определении SAR не учитывается, что живой организм представляет собой системы с большим числом сложных внутренних связей. ПДУ не могут устанавливаться расчетным методом, поскольку расчетный метод не учитывает особенностей взаимодействия ЭМП именно с биологическим объектом, различий в механизмах действия высоких и низких уровней ЭМП, особенности воздействия ЭМИ с различными параметрами

модуляции, резонансные явления и другие. Расчетный метод может быть использован для грубого предварительного прогнозирования эффекта.

Это лишь некоторые комментарии к критериям ICNIRP. За последние годы темпы насыщения среды обитания человека электромагнитными излучениями существенно возросли. Получены новые данные по биологической эффективности электромагнитных полей низких уровней и отдаленным последствиям воздействия электромагнитного фактора. Эффективное решение вопросов защиты человека от ЭМП может быть достигнуто при условии объединения усилий национальных и международных организаций. Международная гармонизация стандартов ЭМП – процесс постепенный. Существующий сейчас уровень взаимного обмена информацией между учеными разных стран позволяет перейти к конкретным шагам на пути унификации гигиенических регламентов ЭМП. Для гармонизации стандартов будет полезна подготовка согласованного Международного документа – Методических рекомендаций по проведению исследований с целью гигиенического регламентирования электромагнитных излучений. Для разработки документа целесообразно создание рабочей группы, состоящей из ученых, имеющих опыт проведения исследований в области разработкой национальных и международных стандартов в области ЭМП.

В. Н. НИКИТИНА¹, Д. В. ВИЛЕСОВ², Г. Н. ТИМОХОВА¹

¹Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья,

²Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

К ВОПРОСУ ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА СУДАХ

Abstract. The characteristics of EMF on the open decks of ships and in underdeck premises is presented in the report. Medical aspects of the influence exerted by electromagnetic fields on the health of the crew and the main directions of activity for optimizing the electromagnetic situation on board ship are considered.

Статистика свидетельствует о том, что количество чрезвычайных ситуаций на водном транспорте постоянно увеличивается. По данным авторов [1,2] не менее двух третей имеющих место аварийных случаев на флоте происходит вследствие неверных действий судоводителей и экипажей судов в конкретных условиях плавания. Причиной этому служит специфика работы на флоте. Надежда на то, что совершенствование навигационных средств судовождения само по себе приведет к сокращению аварий, не оправдалась. Насыщение судов новыми техническими средствами приводит к увеличению количества неблагоприятных факторов и расширению диапазона их повреждающего действия на организм.

Комплекс факторов, воздействующих на экипаж обширен. Это факторы движения судна (укачивание, различны формы центробежного ускорения), неблагоприятный микроклимат, нарушенный ионный состав и химическое загрязнение воздуха, гиподинамия и гипокинезия напряженная деятельность моряков (ответственность за жизнь экипажа, ночные вахты, аварийные и экстремальные ситуации, отрыв от берега и семьи). На экипаж воздействуют шум, вибрация, электромагнитные поля. Цель настоящей публикации рассмотреть более подробно возможную роль и значение электромагнитного фактора в обеспечении безопасности мореплавания.

Электромагнитная обстановка на судах (на открытых палубах и надстройках, в подпалубных пространствах) формируется за счет электромагнитных полей и излучений многих техногенных и естественных источников. Условно технические источники ЭМП можно разделить на следующие группы. Так средства связи и навигации создают электромагнитные поля радиочастотного диапазона. Проблема ЭМИ РЧ наиболее актуальна для открытых судовых пространств, где электромагнитные излучения создаются антенными системами радиопередающих устройств и радиолокационными станциями различного назначения. На вопросы защи-

ты плавсостава от ЭМИ РЧ было обращено внимание еще в 60-е годы и к настоящему времени эта проблема наиболее исследована в гигиеническом аспекте. Вместе с тем остаются актуальными вопросы воздействия модулированных ЭМП, создаваемых антеннами средств морской радиосвязи, на судоводителей, местом постоянной вахты которых являются крылья мостика и верхний мостик. Электромагнитные поля широкого спектра частот создаются бортовыми компьютерами. Процесс насыщения флотом компьютерной техникой идет быстрыми темпами. Статические электрические поля создаются в результате применения в судостроении электризующихся материалов для внутренней отделки судовых помещений, деталей оборудования и систем, швартовых тросов, в результате повышения технологических скоростей транспортировки сыпучих грузов, газов и жидкостей. Жилые и служебные помещения большинства судов дальнего плавания оборудуются системами кондиционирования воздуха, работающими в режиме «зима», «лето». При работе в зимний период судовые системы кондиционирования, подавая в помещение подогретый воздух, не всегда обеспечивают должное его увлажнение. В связи с этим относительная влажность воздуха в помещениях падает до 30-40 %. Снижение относительной влажности влияет на величину электростатических зарядов. Источниками постоянных магнитных полей на судне являются установки, работающие на постоянном токе. Кроме того, на сегодня обозначилась новая проблема- воздействие на экипаж сниженного и искаженного магнитного поля Земли. По нашим данным степень снижения постоянного магнитного поля Земли в различных судовых помещениях составляет от 3 до 11 раз.

Источниками электромагнитных полей промышленной частоты на судах являются электроэнергетические системы (источники и многочисленные потребители электрической энергии, протяженные кабельные трассы). Следует отметить, что

электрические поля промышленной частоты у большинства источников не превышают предельно-допустимых уровней за счет металлических экранов оборудования и брони кабелей

Более опасно воздействие магнитных полей промышленной частоты, особенно на специалистов, которые несут вахтенную службу и выполняют ремонтные и профилактические работы в помещениях энергетического отделения, где уровни индукции магнитных полей могут достигать значений, превышающих предельно-допустимые уровни. Основными источниками магнитных полей на судах являются генераторы электроэнергии, устройства, преобразующие и распределяющие электроэнергию, главный распределительный щит, двигатели насосов, компрессоров, сепараторов, кабельный трассы. В жилых помещениях это кабели и электробытовые приборы. Как показали наши исследования и исследования других авторов [3], при движении судна наблюдаются аperiодические изменения амплитудных значений индукции МП, обусловленные большим количеством переходных процессов. По существу, действующие на специалистов магнитные поля носят импульсный характер. Магнитные поля 50Гц, регистрируемые на судах, отличаются от почти синусоидальных магнитных полей промышленной частоты. Они являются сложной смесью иррегулярных изменений градиентов магнитного поля во времени и неравномерным распределением индукции МП в пространстве судовых помещений. Установленный гигиенический норматив на уровень индукции МП 50 Гц [4] лишь условно может быть распространен на импульсные магнитные поля промышленной частоты, регистрируемые в судовых помещениях.

Изменения, возникающие в организме человека под влиянием техногенных электромагнитных полей, описаны достаточно подробно [5–12]. Ведущее место в клинической картине хронического воздействия ЭМП занимают функциональные нарушения со стороны центральной нервной и

сердечно-сосудистой системы. Нервная система занимает первое место по чувствительности к воздействию электромагнитных полей [13]. Так в начальной стадии заболевания появляются характерные жалобы на быструю утомляемость, снижение работоспособности, раздражительность, головную боль, ослабление памяти и внимания.

С увеличением стажа работы частота жалоб возрастает. При объективном обследовании диагностируются функциональные расстройства центральной нервной системы. Это астенический, астеновегетативный, неврастенический синдромы, вегетативная дисфункция. В зарубежной литературе имеется ряд работ, свидетельствующих об определенной степени риска развития депрессивных состояний среди рабочих электроиндустрии [14]. Патология сердечно-сосудистой системы, диагностируемая у работающих с ЭМП, включает нейроциркуляторные дистонии преимущественно кардиального и гипертонического типа. У них в более ранние годы, чем у лиц контрольной группы развивается гипертоническая болезнь, церебральный атеросклероз, ишемическая болезнь сердца. Авторы отмечают также снижение иммунитета и нарушение функции половой системы.

Характеризуя ЭМП судовых технических средств, необходимо подчеркнуть повышенную их агрессивность для организма человека. Это обусловлено тем, что судоводители подвергаются воздействию модулированных электромагнитных излучений. На персонал энергетических отделений воздействуют импульсные магнитные поля. И те, и другие обладают повышенной биологической активностью, то есть способностью вызывать нарушения в организме в более короткие сроки. [15–16]. Воздействие на организм техногенных ЭМП реализуется на фоне ослабленного магнитного поля Земли. Исследованиями последних лет убедительно показано отрицательное влияние гипомагнитной среды на организм человека [17–19]. Влияние специфической электромагнит-

ной обстановки в сочетании с другими неблагоприятными факторами судовой среды предъявляет высокие требования к адаптационным возможностям организма.

Профилактика нарушений в состоянии здоровья, особенно специалистов, отвечающих за безопасность судна, должна начинаться на этапе профессионального отбора. Важнейшей задачей является оперативный психологический мониторинг персонала. На основе ПЭВМ и современных информационных технологий в настоящее время разработаны автоматизированные системы, предназначенные для оперативной оценки функционального состояния центральной нервной системы человека в данный момент времени. База данных позволяет хранить и накапливать

информацию о каждом респонденте и формировать индивидуальные нормы. Для решения задач по защите экипажа от воздействия электромагнитных полей на открытых палубах и внутри судовых помещений необходима подготовка соответствующих нормативно-правовых документов (гигиенических нормативов и требований, руководящих документов, инструкций) и соответствующее аппаратное обеспечение контроля над уровнями фактора. Определенные разработки по этим направлениям имеются в ВУЗАХ и научных учреждениях СПб. Следует проанализировать имеющиеся материалы и ускорить внедрение их в практику проектирования, судостроения и эксплуатации флота.

Литература

1. Лемеш Г.А., Кейзер Л.С. Человеческий фактор в чрезвычайных ситуациях на водном транспорте. Актуальные проблемы обитаемости, радиационной и химической безопасности кораблей и судов ВМФ. Материалы научно-практической конференции, СПб., 1998.-С.88-89.
2. Мацевич Л.М., Вишневский А.М., Разлетова А.Б. Медико-технические проблемы гигиены водного транспорта. Медицина труда и промышленная экология, №12, 1999.-С.4-8.
3. Никитина В.Н., Вилесов Д.В., Святош Е.А., Степанов-Хазов С.Б. Об обеспечении электромагнитной гигиены на судах. Научно-технический сборник Российского государственного морского регистра судоходства. Выпуск 19. СПб. 1996.- С.227-239.
4. Переменные магнитные поля промышленной частоты (50 Гц) в производственных условиях. Санитарные правила и нормы. СанПин 2.2.4.723-98
5. Артамонова В.Г., Шаталов Н.Н. Профессиональные болезни. М., Медицина, 1996,-С.162-169.
6. Виевская Г.А., Огулова Ю.В., Решетник И.Л. К вопросу о влиянии электромагнитных полей промышленной частоты на состояние нервно-психического здоровья электромонтеров, работающих на не отключенных высоковольтных линиях (ВЛ): Тез. 1 Международного симп. 16-18 ноября 1993 «Гигиена физических факторов окружающей и производственной среды».-Киев, 1993.-С.19-20.
7. Грабовский Ю.В., Федоров П.И., Корнилов В.Ю. и др. Оценка психологического профиля личности и актуального психологического состояния персонала линий электропередачи сверхвысокого напряжения. Тез. док. первой российской конф. «Проблемы электромагнитной безопасности человека»-М., 1996.-С.68.
8. Захарченко М.П., Никитина В.Н., Лютов В.В. Электромагнитные излучения и здоровье. – СПб: СПбГМА – 141 с.
9. Лысина Г.Г., Никонова К.В. // Профессиональная патология при воздействии электромагнитной энергии сверхвысокой частоты. - Киев: Здоровье, 1986.- 91 с
10. Никитина В.Н. Отдаленные последствия воздействия электромагнитных полей радиочастотного диапазона. / Тез. докл. Межд. совещания Электромагнитные поля. Биол. действие и гигиен. нормирование.-М.-18-22мая 1998 г. –с.-50.
11. Никитина В.Н. // Труды Международный симпозиум по судостроению 8-12 октября 1994 г.- С.60-66
12. Никитина В.Н. О взаимосвязи раннего старения организма с воздействием электромагнитных излучений / Клиническая геронтология-1997. № 3.-с.14-18.
13. Холодов Ю.А. Мозг в электромагнитном поле. М-из-во Наука, 1982-120 с.
14. Savitz D.A., Boyle C.A., Holmgren P. Prevalence of depression among electrical workers // Am.J.Ind.Med.-1994.-Vol.25, №2.-P.177-180.
15. Влияние электромагнитных полей на организм человека. Сборник. научных статей. М., Фонд “Новое тысячелетие”, 1998.- 214с.
16. Баньков В.И., Макарова Н.П., Николаев Э.К. Низкочастотные импульсные сложно модулированные электромагнитные поля в медицине и биологии. Екатеринбург. Из-во Уральского университета, 1992-98с.

17. Васюков Г.В. и др. Влияние длительной работы в экранированных помещениях в условиях гипоманнитного поля на функциональное состояние организма человека: Тез. докладов семинара «Электромагнитные поля и человек». – Самара, 1992. – С.3.

18. Григорьев Ю.Г. Реакция организма в ослабленном геомагнитном поле. Радиационная биология. Радиозоология. – 1995. Том 35. – Вып.1. – С.3–18.

19. Походзей Л.В. Гипогеомагнитные поля, как один из неблагоприятных факторов среды. Тез. Межд. совещания. Электромагнитные поля. Биол. действие и гигиеническое нормирование. – М. – 1998. – с. 32.

**Н. В. Коровкин¹, С. В. Кочетов¹, Е. Е. Селина¹,
Ю. А. Прусакова², П. Звоякер², Ж.-П. Зрид², М. Яноз²**

¹Санкт-Петербургский государственный технический университет, Россия,

²Swiss Federal Institute of Technology of Lausanne, Switzerland

ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К РЕГИСТРАЦИИ СЛАБОГО ВЛИЯНИЯ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА РАЗВИТИЕ МХОВ

Реферат. Рассмотрен новый подход, позволяющий регистрировать действие слабых электромагнитных полей на развивающиеся биологические структуры. Метод основан на вычислении фрактальной размерности предварительно обработанных оптических изображений биологических объектов. Метод опробован на изучении развития мхов *Psychomitrella Patens*, для которых получены результаты о влиянии на развитие электромагнитного поля с частотами 16Гц, 50Гц, 400Гц и постоянного магнитного поля.

1. Введение

Актуальность проблемы анализа влияния электромагнитных полей на биологические объекты не требует долгих обоснований. Исследованиям этого вопроса посвящено значительное количество работ, однако, нерешенных проблем в этой научной области еще весьма много. Одной из важнейших является разработка методов достоверной регистрации и количественной оценки влияния электромагнитного поля на биологические объекты и системы в тех случаях, когда это влияние является слабым. В этом важном для практики случае изменения в развитии (поведении) биологических объектов или систем незначительны в сравнении с теми естественными изменениями объект, которые объект претерпевает в ходе своего развития.

Задачи, в которых наряду с активно протекающими процессами, протекают и значительно более медленные, менее ярко выраженные, но, тем не менее, важные

для развития и существования объекта процессы, выделены математиками в отдельную группу так называемых «жестких» задач [1]. Математические модели таких процессов обладают целым рядом специфических свойств и особенностей.

В настоящей работе авторы предприняли попытку количественной оценки действия достаточно слабого постоянного и переменного (16Гц, 50Гц, 400Гц) электромагнитного поля на развитие мхов. Исследовалось также влияние на рост мхов температуры окружающей среды. Опыты выполнялись на культуре *Psychomitrella Patens*. Для анализа влияния использовались методы фрактальной обработки оптических изображений развивающихся спор мха.

2. Описание эксперимента

Одновременно выполнялось два одинаковых эксперимента (далее Э1 и Э2), каждый из которых включал в себя исследование роста мхов в зависимости от температуры окружающей среды и от дейст-

вия электромагнитного поля. Опыт по изучению действия температуры выполнялся в термостатах, где поддерживалась температура 20 (стандартная), 22 и 30 градусов Цельсия. Отметим, что результаты этого опыта могут быть предсказаны на основании предыдущих исследований развития мхов *Psychomitrella Patens*. Уровень температуры в 22°C ускоряет развитие, а 30°C несколько подавляет его. Поэтому эта часть эксперимента может рассматриваться как тестовая для предлагаемой авторами методики.

Опыт по изучению действия электромагнитного поля выполнялся в катушках Гельмгольца при напряженности магнитного поля 1.05 мТл. Температура в течение этого опыта изменялась как в течение суток, так и в течение всего опыта от суток к суткам. Опыт выполнялся в экранированном помещении.

Споры мхов помещались в термостат или катушки Гельмгольца, где находились в течение всего опыта (около 8 суток) и доставались только для выполнения процедуры получения оптических изображений. Споры, не подвергающиеся воздействию поля, находились в том же помещении.

Опыты выполнялись в лаборатории электрических систем Высшей технической школы в Лозанне (Швейцария).

3. Описание метода получения изображений мхов

Чашка Петри со спорами мха фотографировалась (через микроскоп) с помощью цифровой камеры с одномогапиксельной квадратной матрицей. Цветное изображение в компьютере преобразовывалось в однобитное черно-белое. При этом споры выглядели как переплетение черных нитей на белом фоне. Далее алгоритмически внутренние (черные) точки спор удалялись из изображения, которое к концу обработки представляло собой контур скопления спор. Примеры обработанных таким образом изображений спор, полученные в различные моменты времени их развития, приведены на рисунке 1.

Отметим, что процедура подготовки изображения достаточно проста, полностью автоматизирована и не содержит этапов, на которых субъективный взгляд или действие экспериментатора могли бы повлиять на результат.

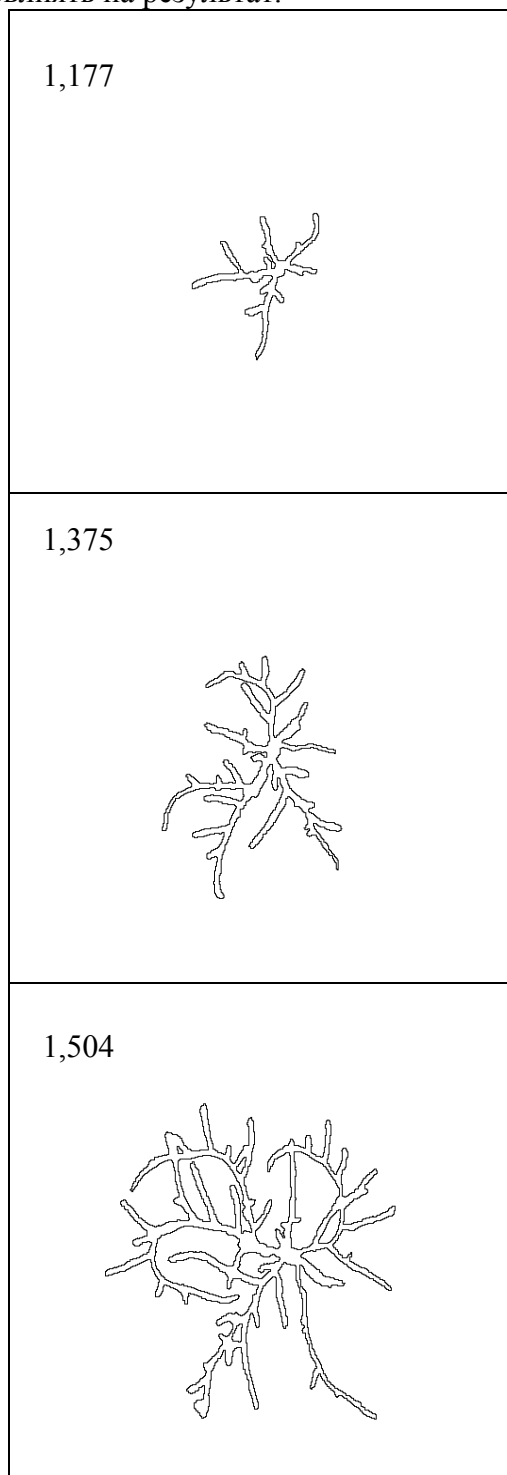


Рис. 1

4. Описание метода анализа изображений

Предполагается, что контур, охватывающий споры, представляет собой фрактальную кривую. Как показывают многочисленные исследования (см. например обширную библиографию в [2,3]) данное предположение является естественным для большинства природных объектов. Если предполагать, что воздействие температуры или электромагнитного поля влияет на форму объекта, то фрактальную размерность его изображения можно использовать для наших исследований как количественную характеристику.

В работе использовалась так называемая клеточная размерность фрактала, алгоритм вычисления которой хорошо известен [4] и достаточно прост. Цифры на рисунке 1 представляют собой вычисленную клеточную размерность соответствующих кривых. Как можно видеть, визуальное различие в формах кривых прекрасно отражено и в их фрактальных размерностях.

Таким образом, сопоставляя фрактальные размерности изображений спор, полученные для образцов, находящихся под действием электромагнитного поля и для контрольных образцов можно регистрировать различия в динамике изменения их форм и констатировать наличие или отсутствие внешнего влияния. Подчеркнем, что метод констатации влияния, является вполне объективными и не зависит от мнения исследователя и том какая из спор «лучше» или «хуже» развита. Мы вообще не обсуждаем вопрос о том, связано ли, например, увеличение фрактальной размерности с улучшением условий для развития спор. Мы можем только констатировать наличие или отсутствие различий в динамике развития спор, находящихся в различных условиях.

5. Результаты

Результаты экспериментов Э1 и Э2 сведены в таблицу 1. В соответствующих строках таблицы приведены фрактальные размерности изображений спор, получен-

ные в последовательные моменты времени. По этим данным построены кривые на рисунках 2 и 3.

Таблица 1

Эксперимент 1				
	23.авг	25.авг	28.авг	30.авг
-	0,936	1,027	1,254	1,421
0 Гц	1,014	0,953	0,964	0,954
16 Гц	0,888	0,887	0,853	0,843
50 Гц	0,899	0,882	1,026	1,101
400 Гц	1,018	1,127	1,248	1,388
22 °С	1,255	1,49	1,719	1,793
30 °С	1,231	1,46	1,638	1,724
20°С	1,177	1,375	1,504	1,583
Эксперимент 2				
	23.авг	25.авг	28.авг	30.авг
-	0,88	1,098	1,159	1,276
0 Гц	0,863	0,828	0,953	0,849
16 Гц	0,825	0,865	0,885	0,927
50 Гц	0,956	1,057	1,143	1,207
400 Гц	0,962	1,122	1,253	1,408
22 °С	1,322	1,532	1,773	1,836
30 °С	1,25	1,454	1,649	1,74
20°С	1,099	1,314	1,427	1,501

Рассмотрим влияние на развитие мхов температуры. В обоих экспериментах мы можем констатировать достаточно сильное влияние этого фактора. Причем с ростом температуры фрактальная размерность изображений сначала возрастает, а затем падает. Увеличение фрактальной размерности сопровождается ростом «сложности», разветвленности формы спор. Поэтому, если трактовать разветвленность формы как положительное фактор развития (мы не утверждаем этого!), то из анализа кривых следует сделать вывод, что повышение температура оказывает положительное действие только до некоторого предела, за которым начинает проявляться угнетающее развитие спор влияние дальнейшего повышения температуры. Таким образом, «тестовая часть» эксперимента дала предсказанные предыдущими исследованиями результаты.

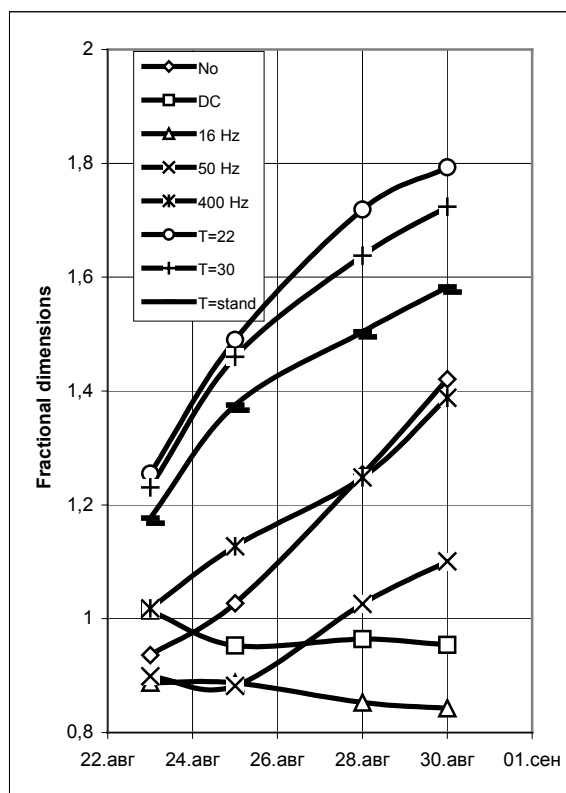


Рис. 2

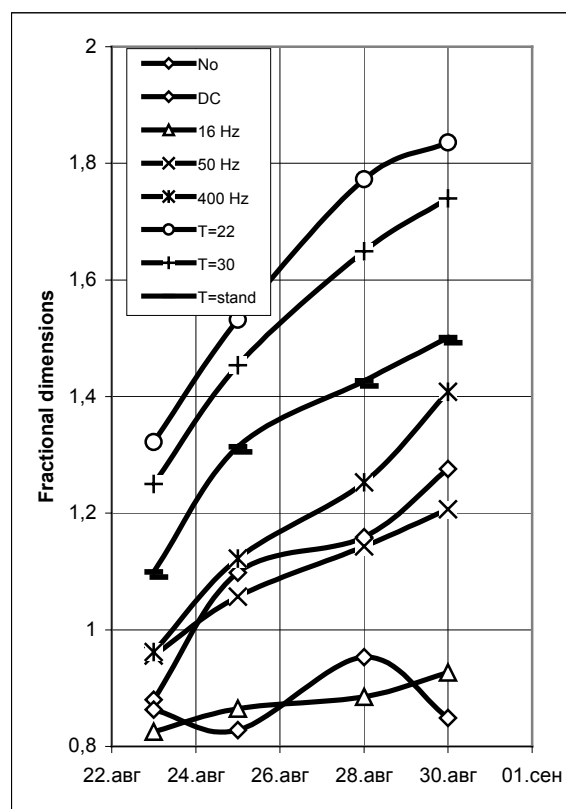


Рис. 3

Оценка влияния на развития спор электромагнитного поля не столь однозначна. Как следует из анализа кривых, невозможно с уверенностью констатировать различие в развитии спор контрольной группы и спор, находящихся по действием электромагнитного поля с частотой 400 Гц. Аналогичный, вывод следует, по-видимому, сделать и для поля с частотой 50 Гц, так как заметное отличие фрактальных размерностей, наблюдаемое в эксперименте Э1 (рисунок 2) не подтверждается в эксперименте Э2.

Влияние поля с частотой 16 Гц и постоянного магнитного поля достаточно ярко проявилось в обоих экспериментах и мы можем достаточно обоснованно утверждать, что эти поля оказывают влияние на развитие мхов. При действии магнитного поля с частотой 16 Гц и постоянного магнитного поля замедляется процесс «усложнения» формы спор, в сравнении со скоростью развития этого процесса в контрольной группе.

6. Выводы

Методы фрактальной обработки изображений продуктивны при анализе слабых влияний на развитие биологических объектов и систем. Они позволяют получать объективные количественные оценки слабых влияний на основе оптических изображений объекта, не оказывая значительного воздействия на ход его развития. Методы просты и легко реализуются на современной и относительно не дорогой регистрирующей аппаратуре.

Литература

1. Ю.В.Ракитский, С.М.Устинов, И.Г.Чернорудский, Методы численного решения жестких систем. - М.: Наука, 1979.
2. K.Falconer, Fractal Geometry, J.Wiley& Sons.: N.Y. 1990.
3. A.Bunde, S.Havlin, Fractals and disordered system, Springer.: Berlin, 1996.
4. J.Feder, Fractals, Plenum Press.: N.Y, 1988.

Ю. Б. БАШКУЕВ¹, В. Б. ХАПТАНОВ², В. Р. АДВОКАТОВ², П. Н. ДАГУРОВ², А. В. ГАЦУЦЕВ²

¹Иркутский институт инженеров железнодорожного транспорта, Россия, 664074, Иркутск, ул. Чернышевского 15, E-mail: kuripko@upp.iriit.irk.ru.

²Бурятский научный центр СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. М. Сахьяновой 8, E-mail: lab@rgp.bsc.buryatia.ru

ПАСПОРТИЗАЦИЯ РАДИОПЕРЕДАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ ФАКТОРУ

Abstract. In the report the problems of radio-frequency electromagnetic ecology on objects of a railway transport are considered. On an example of the Ulan-Ude distance of the signalling and communication system the classification of radio engineering objects of locomotive and stationary radio communication is conducted. The system of automated forecasting of electromagnetic environment in places of railway radio communication antenna location by using of the package MathCAD and sanitarian passport of radio engineering object of a typical railway distance of the signalling and communication system are developed.

В докладе рассмотрены вопросы электромагнитной экологии радиочастот на объектах железнодорожного транспорта. Цель исследования заключалась в разработке и внедрении санитарного паспорта радиотехнического объекта типовой дистанции сигнализации и связи МПС РФ по электромагнитному фактору. Необходимость получения санитарного паспорта для передающих радиотехнических объектов (ПРТО) железнодорожного транспорта обусловлена требованиями Санитарных правил и норм "Сан.ПиН. 2.2.4/2.1.8.055-96", нормирующих электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Актуальность внедрения санитарного паспорта ПРТО железнодорожного транспорта обусловлена ужесточением требований со стороны органов государственной экспертизы условий труда в РФ, а также экономической ответственностью юридических лиц за ущерб, нанесенный здоровью производственного персонала.

"Сан.ПиН. 2.2.4/2.1.8.055-96" в пункте 6.18 предписывают, что каждый передающий радиотехнический объект (ПРТО), мощность которого превышает 40 Вт в диапазоне 30 кГц - 3 МГц, 20 Вт - в диапазоне 3-30 МГц и 2 Вт в диапазоне 30 МГц - 300 ГГц должен иметь санитарный паспорт. Санитарный паспорт составляется владельцем (администрацией) ПРТО.

Излучающие радиотехнические системы железнодорожного транспорта работают в гектометровом (2,13; 2,15 МГц), метровом (151-156 МГц), дециметровом (307-343 МГц) и сантиметровом (6025 - 6475 МГц) диапазонах радиоволн. Согласно п. 6.2. документа [1] радиопередатчики гектометрового диапазона типа УПП1 и аналогичные, имеющие максимальную мощность 12-15 Вт, а также носимые радиостанции типа РН-12Б мощностью менее 2 Вт не должны иметь санитарный паспорт. В то же время радиопередатчики гектометрового диапазона мощностью от 5 до 40 Вт, работающие на

антенну или другой элемент, предназначенный для излучения в пространство, согласно п. 4.3. документа [1] подлежат электромагнитному контролю.

Носимые радиопередающие средства (радиостанции РН-12Б, Motorola GP-300/340, Гранит и т.д.) мощностью более 0,05 Вт также подлежат контролю [1,2].

В соответствии с п. 6.1. документа [1] работающие в движении радиостанции (т.е. локомотивные типа РВ-1М и установленные на автомобилях, дрезинах, мотриссах и т.д.) могут размещаться и вводиться в эксплуатацию без разрешения соответствующего центра государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Однако в соответствии с п. 6.23 на постоянных стоянках (вокзалах, станциях и т.п.) установленные на транспортные средства (поезда) передающие радиотехнические средства должны иметь санитарный паспорт в целом на объект базирования транспортных средств (локомотивное или вагонное депо или иного владельца ПРТО).

Таким образом, исходя из требований Сан.ПиН. 2.2.4/2.128.055-96, необходимо составление санитарного паспорта только для стационарных радиостанций метрового, дециметрового и сантиметрового (система спутниковой связи "Грасса", радиорелейные линии связи) диапазонов радиоволн. Так как владельцем возимых (локомотивных) радиосредств является служба локомотивного хозяйства, то разработка санитарного паспорта на эти средства относится к её ведению.

Радиопередающие объекты дистанции сигнализации и связи рассредоточены по большому числу станций и поездов, поэтому целесообразно составление единого санитарного паспорта на все ПРТО конкретной дистанции. Основанием для этого является также типовой набор излучающих радиосредств (передатчиков и антенн) на большинстве станций всей сети железных дорог России. В этой связи актуальна задача создания автоматизированной системы расчета интенсивности электромагнитного излучения и составле-

ния санитарного паспорта. Эта задача решена при выполнении данной НИОКР.

С юридической точки зрения (владелец передающего радиотехнического объекта) целесообразно ввести понятие "ПРТО железнодорожного транспорта". Мы предлагаем понимать под этим понятием совокупность однотипных мало-мощных (менее 50 Вт) источников электромагнитных радиочастотных излучений, рассредоточенных вдоль железнодорожного пути в пределах дистанции сигнализации и связи и находящихся на её балансе.

На примере Улан-Удэнской дистанции сигнализации и связи проведена классификация радиотехнических объектов поездной и станционной радиосвязи. На основе пакета MathCAD выполнена разработка подсистемы расчетного прогноза для стационарных радиостанций метрового и дециметрового диапазонов. Проведен выбор "оболочки" и создана база данных для паспорта радиотехнического объекта.

В метровом диапазоне предельно допустимый уровень (ПДУ) напряженности электрического поля (НЭП) для производственного персонала принимается 10 В/м (8-часовой рабочий день), для населения – 3 В/м.

Согласно [1], для дуплексных радиостанций дециметрового диапазона нормируются два значения плотности потока энергии - ППЭ₁ для воздействия на производственный персонал и ППЭ₂ для воздействия на население. Уровень ППЭ₁ определяется как $ППЭ_1 = 200/T$, мкВт/см²; где T - время воздействия ЭМИ, ч. При 8-часовом рабочем дне $ППЭ_1 = 25$ мкВт/см². Для населения $ППЭ_2 = 10$ мкВт/см².

Разработан санитарный паспорт радиотехнического объекта типовой дистанции сигнализации и связи. Проведено теоретическое обоснование общих требований к высоте подвеса и количеству антенн ПРТО, выполнение которых обеспечит соблюдение санитарных норм и отсутствие необходимости введения сани-

тарно-защитной зоны (СЗЗ) на ПРТО железнодорожного транспорта.

Расчеты проведены для 13 типов антенн при максимальной мощности передатчиков 15 и 50 Вт. Высота подвеса антенн выбрана равной 15 м, что соответствует средней высоте их подвеса на опоре типа ШР-3. Затухание фидера выбрано минимальным, т.е. с точки зрения расчета ПДУ рассматривается самый неблагоприятный случай.

В таблице сведены результаты расчетов параметров безопасности по ЭМИ для стационарных радиостанций поездной радиосвязи в МВ и ДМВ диапазонах по оп-

ределению зоны ограничения для персонала, СЗЗ и ЗОЗ.

Результаты расчетов ППЭ для антенн АС1/3 ÷ АС5/3, размещенных на мачтах ШР-3 или крышах зданий показывают, что в непосредственной близости от антенн наименьший средний уровень ППЭ по всей площади крыши (или вблизи мачты) дают антенны АС1/3, а максимальный – антенны АС3/3. Эти антенны создают уровень ППЭ > 25 мкВт/см² на расстояниях от 6,2 до 15,6 метра.

Таблица

МВ диапазон, мощность передатчика 15 Вт

Тип антенны	Усиление антенны, дБ	Зона ограничения для персонала, м	Зона ограничения застройки, м	Минимальная высота подвеса антенны, при которой отсутствует СЗЗ, м
АС 1/2	0	3,2	10,7	6.9
АС 2/2	3	4,5	15,2	5.9
АС 3/2	8	8,1	27,0	9.8
АС 4/2	4	5,1	17,0	7.7
АС 4/2*	4	5,1	17,0	7.7
АС 5/2	5	5,7	19,1	7.6
АС 6/2	4	5,1	17,0	7.0

ДМВ диапазон, мощность передатчика 50 Вт

АС 1/3	0	6,2	9,8	6.5
АС 2/3	3	8,8	13,9	5.9
АС 3/3	5	15,6	24,7	9.8
АС 4/3	5	11,1	17,5	7.8
АС 4/3*	5	11,1	17,5	7.8
АС 5/3	5	11,1	17,5	7.2

Анализ результатов расчетного прогноза электромагнитной обстановки на радиопередающих объектах Улан-Удэнской дистанции сигнализации и связи показал, что СЗЗ на высоте 2 м при высоте подвеса антенн МВ и ДМВ диапазонов 15 м отсутствует. СЗЗ вводится при минимальных высотах подвеса антенн от 6 до 10 метров (последняя колонка таблицы). Приведенные расчетные оценки носят несколько завышенный характер, что подтверждается результатами измерений уровней НЭП и ППЭ на действующих ра-

диостанциях [3,4]. Таким образом, отсутствие СЗЗ для стационарных радиостанций поездной и станционной радиосвязи в МВ и ДМВ диапазонах можно считать достоверно установленным фактом. Введение ЗОЗ может быть необходимо лишь при строительстве на территориях железнодорожных станций производственных зданий в 4-5 и более этажей. Максимальный размер ЗОЗ 27 м достигается для антенны АС3/2, имеющей однонаправленную ДН. С учетом полосы отвода для железнодорожного транспорта и ориентации

ДН антенн АС3/2 и АС3/3 вдоль железнодорожного пути максимальная круговая ЗОЗ с радиусом 19,1 м получается для антенны АС5/2 и несколько меньше (17,5 м) для антенны АС5/3.

Использование антенн наиболее рациональной конструкции, например АС4/3, АС4/2, которые концентрируют ЭМИ в направлении зоны обслуживания и ослабляют его уровни в близлежащем пространстве, позволяет существенно уменьшить размер ЗОЗ.

С учетом пространственного разнеса все стационарные радиостанции МВ и ДМВ диапазонов как порознь, так и в совокупности, создают на земной поверхности ЭМИ РЧ, не превышающие предельно-допустимых уровней для персонала и населения. Следовательно, типовые ПРТО дистанции сигнализации и связи не представляют опасности для жизнедеятельности человека и состояния окружающей среды.

Измерения ЭМИ РЧ на объектах железнодорожного транспорта должны производиться не реже одного раз в год (в порядке текущего контроля), после ремонта источников ЭМИ РЧ, при внесении в условия и режимы работы источников ЭМИ РЧ изменений, влияющих на уровни излучения. При этом обязанность обеспечения проведения контрольных измерений лежит на владельцах источников ЭМИ РЧ, т.е. дистанциях сигнализации и связи, ТЧ. Полученные дорожной лабораторией ВСЖД результаты динамического наблюдения за интенсивностью ЭМИ РЧ, создаваемой передающими радиотехническими объектами железнодорожного транспорта в разные сезоны года и время суток показывают, что периодичность проведения измерений может быть увеличена до 3 лет. Это периодичность должна быть согласована с дорожным центром санэпиднадзора.

Установлено, что носимые радиостанции типа РН-12Б, Motorola GP-300/340, Гранит имеют на малых расстояниях от антенн очень высокие уровни напряженности поля (до 180 В/м), значительно пре-

вышающие ПДУ. Это обстоятельство требует разработки соответствующих инженерно-технических и лечебно-профилактических мероприятий по индивидуальной защите работающих с носимыми радиостанциями РН-12Б и "Motorola" от воздействия ЭМИ РЧ. В качестве первой меры предлагается использовать защитную одежду (комбинезон, куртку), изготовленную в области расположения радиостанции из хлопчатобумажной ткани с микропроводом (ОСТ-17-28-70) и ослабляющую поле в диапазоне 30 МГц–30 ГГц на 20÷40 дБ. Все работники, использующие носимые радиостанции, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры. Предложено провести исследование параметров безопасности носимых железнодорожных радиостанций и разработку комплекса мероприятий по индивидуальной защите работающих с носимыми радиостанциями от воздействия ЭМИ РЧ. Установлено сильное влияние электромагнитного поля промышленной частоты 50 Гц на существующие измерители напряженности поля типа ИПМ-101. Отмечена необходимость разработки малогабаритных измерителей высоких уровней напряженности электромагнитного поля радиочастот, предназначенных для работы в сложной электромагнитной обстановке на объектах железнодорожного транспорта.

Проведенные исследования и разработки способствуют улучшению условий труда и охране здоровья работников железнодорожного транспорта. Внедрение санитарного паспорта передающего объекта на каждой дистанции сигнализации и связи всей сети дорог МПС РФ явится одним из важных мероприятий по защите производственного персонала от радиочастотного электромагнитного неионизирующего излучения.

Исследования в области электромагнитной экологии и санитарной паспортизации выполнены на кафедре информационных и телекоммуникационных систем Иркутского института инженеров железнодорожного транспорта с привлечением

Литература

1. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Сан.ПиН. 2.2.4/2.18.055-96. -М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996, 28 с.
2. Временные допустимые уровни (ВДУ) воздействия электромагнитных излучений, создаваемых системами сотовой радиосвязи. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.8/2.2.4.019-94. - М: Госкомсанэпиднадзор России, 1995.
3. Методические указания. Определение уровней электромагнитного поля в местах размещения передающих средств и объектов сухопутной подвижной радиосвязи ОБЧ и УВЧ диапазонов. МУК 4.3.046-96 от 02.02.96. - М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.
4. Методические указания. Определение плотности потока мощности электромагнитного поля в местах размещения радиосредств, работающих в диапазонах частот 700 МГц - 30 ГГц. МУК 4.3.043-96 от 02.02.96. - М.: Госкомсанэпиднадзор России, 1996, 33 с.

G. DECAT

Integral Environmental Studies – Vito, Boeretang 200, 2400 Mol,
Belgium

EXPOSURE TIME INTEGRAL ANALYSIS OF THE MAGNETIC FIELD IN HOUSES BELOW HIGH-VOLTAGE OVERHEAD TRANSMISSION LINES

Some epidemiologists concluded that the incidence of childhood leukemia by children exposed to a magnetic field of 0.4 μT or more may be twice that of children exposed to less than 0.4 μT . The 0.4 μT cut-off point was estimated by means of calculations or 24 h and 48 h exposure measurements in the bedroom of the children. Therefore, the present paper deals with the time integral analyses of the magnetic field exposure on the first floor of houses below or close to high voltage transmission lines. It is concluded that the 0.4 μT epidemiological cut-off point is always exceeded in houses below or close to high voltage transmission lines of 380, 220 and 150 kV respectively. This is not the case in houses below 70 kV lines.

1 Introduction

An international team of leading epidemiologists conducted a pooled analysis based on individual records from nine studies including the most recent ones. Studies with 24/48-hour magnetic field (B-field) measurements or calculated B-field were included (Ahlbom et al., 2000).

The conclusion of the study was that 99,2% of children residing in homes with exposure levels $< 0,4 \mu\text{T}$ had estimates compatible with no increased risk, while 0.8% of children with exposures $\geq 0,4 \mu\text{T}$ had a relative risk estimate of approximately 2, which unlikely to be due to random variability. This finding that children exposed to 0,4 μT or more are twice as likely to develop leukemia than those exposed to less than 0,4 μT (Microwave News, 2000) intensifies again the

debate on the health risks of excessive exposures to magnetic fields from High Voltage Transmission Lines (HVTL's) or other sources.

Although the mentioned epidemiological studies contains also 24 and or 48 hours magnetic field measurement, one of the major problems in the electromagnetic field (EMF) epidemiological studies remains the assessment of the magnetic field at which people may be exposed nearby or farther away from HVTL's.

This paper deals with the estimation of the percent of time that the B-field level of 0,2 μT and mainly 0.4 μT are exceeded in houses below different Belgian HVTL's. The estimation is based on a one week monitoring of the B-field in houses below a 70, 150, 220 and 380 kV lines respectively. The exposure

time integral analysis of the recorded data are only focused on the 0,2 and 0,4 μT cut-off points used in epidemiological studies for fixing the boundary line between unexposed (B-field < than cut-off point) and exposed (B-field > than cut-off point) groups.

2 Method

The selected HVTL's had a nominal voltage of 70, 150, 220 and 380 kV respectively.

The magnetic flux density or B-fields was recorded by placing a 'Low Field' EMDEX LITE monitor (EnerTech) range 0.01 to 70 microtesla (μT), resolution 0.01 μT , accuracy $\pm 4\%$, bandwidth 40–1000 Hz] on the first floor of an house under each HVTL respectively. The B-field was sampled during one week at a sampling rate of 2 minutes. A theodolite (TOPCON, TL-1E, accuracy 1") was used to determine the shortest distance between the ridge (roof peak) of each test house and the respective transmission line. The background of the B-field was recorded in a house at about 500 m away from any transmission line.

3 Results

Table 1 shows the current load of the HTLV conductors and the difference (Δh) between the lowest conductor and the ridge of the house below.

Table 1: Current load and height difference between conductor and ridge

Line e (kV)	Current/phase (A)	Δh (m)
380	880	20
220	115	6
150	470	16
70	40	8.5

Table 2 summarize the location and dispersion parameters of the observed B-fields together with Δh (m) and current (A) per HTVL.

Table 2: Location and dispersion parameters of the B-field (μT)

Line (kV)	Δh (m)	Cur. (A)	Min. (μT)	Max. (μT)	Mean \pm SD (μT)
380	20	880	1	4.5	$3.0 \pm 0,5$
220	6	115	0.2	2	1.0 ± 0.3
150	16	470	0.7	3	2.0 ± 0.4
70	8.5	40	0.04	1.4	0.3 ± 1
BG			0.01	0.05	0.02 ± 0.01

BG: background level

Table 3: B-field intervals (μT) and % of the total exposure time

B-field (μT)	380 %	220 %	150 %	70 %
0 – 0.2	0	0	0	29
0.2– 0.4	0	1	0	61
> 0.4	100	99	100	10

Table 3 shows the B-field variation in the test houses. It is expressed as the percent of the total sampling time (% time) a certain field strength is present in the house.

4 Conclusion

The exposure time integral analysis shows that the probability for exceeding the 0.2 μT or 0.4 μT cut-off boundary used in epidemiological studies is nearly always 100% for what about the 150, 220 and 380 kV-lines respectively. In case of houses below

70 kV-lines the probability is much smaller. However, besides the decrease of the B-field strength with the square of the transversal distance away from to the HVTL conductors, the B-field strength depends also on the current load of the conductor that on its turn depends on the operating capacity of the line. Since the operating capacity of the HVTL depends from the electricity demand for industrial, household and other activities the magnetic fields have to be monitored during a much longer period than 24 h or 48 hours in order to support epidemiological EMF research with statistical representative parameters.

References

1. Ahlbom, A., Day, N., Feychling, M., Roman, E., Skinner, J., Dockerty, J., Linet, M., McBride, M., Michaelis, J., Olsen, J.H., Tynes, T. and Verkasalo, P.K. (2000), A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia. British Journal of Cancer, vol. 83, no. 5, pp. 692-698.

2. Decat, G. and Van Tongerloo, J. (1998), Monitoring the magnetic field in houses under 50 Hz high-voltage overhead transmission lines. *Int. J. Environment and Pollution*, vol. 9, no. 4, pp. 341-351.
3. *Microwave News*, September/October 2000.

В. А. БУКАНИН

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет “ЛЭТИ”

БИО-ЭМС ИНДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ И СРЕДСТВА УПРАВЛЕНИЯ ВНЕШНИМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Abstract. Discussion about general problems of bio-electromagnetic compatibility, analysis of bio-EMC for induction systems and results of investigation are presented in this paper. It is known that induction systems are sources of intensive electromagnetic fields that can influence on the servicing personnel. There is bio-EMC problem at the moment for some kinds of high-frequency induction heating installations. For example, many induction coils do not have any protective means, and magnetic field intensity in surrounding is very high. External electromagnetic field can be successfully reduced by means of different control methods. Magnetic controllers and yokes are the simple and effective control methods of electromagnetic field. The reducing factor depends on the magnetic permeability and can be equal 2 or 3 if permeability is 50 or more.

Общие проблемы

Любая индуктирующая система состоит из катушки или витка, по которому течёт переменный ток либо непосредственно от сети 50 (60) Гц, к которой она соединена, либо от преобразователя средней или высокой частоты. Основным назначением этой системы является создание электромагнитного поля (ЭМП), вызывающего появление вихревых токов и внутренних источников теплоты, которые приводят к нагреву загрузки.

Основная задача разработчика состоит в том, чтобы максимально эффективно это ЭМП использовать. Тем не менее, в реальной системе невозможно обеспечить условий, при которых магнитный поток замыкается только в пределах загрузки. Часть его неизбежно проходит по воздушному промежутку между индуктором и нагреваемым телом, а часть замыкается в окружающем пространстве.

Если путь обратного магнитного потока проходит снаружи индуктирующей катушки по воздуху, то этот магнитный поток может пронизывать тело человека, который находится вблизи нагревателя и выполняет некоторые технологические операции или следит за процессом с пуль-

та управления. Раньше мало задумывались о вредном влиянии ЭМП не только плавильщики, нагревательщики или термисты, основным рабочим местом которых являлось пространство вблизи индукционной установки, но и инженеры и конструкторы, которые исследовали или проектировали установку и технологический процесс. Недостаток знаний с одной стороны и отсутствие расчётных методов с другой стороны делали задачу неразрешимой.

Существенные недоработки в вопросах исследования влияния ЭМП на человека и нормирования допустимых уровней напряженности электрического и магнитного полей на низких и средних частотах даже в настоящее время не позволяют сказать, что проблема может быть решена в ближайшее время. В отличие от европейских стран, у которых имеются хоть временные нормы на предельно допустимые параметры ЭМП для всего диапазона частот, в России этого до сих пор не сделано даже с введением новых санитарных норм [1 – 5].

В частности не охвачен диапазон частот от 500 до 10000 Гц, в котором работает большая часть индукционных нагревателей периодического и непрерывного

действия. Что это может означать для предприятий, на которых они эксплуатируются? Требуется или нет проводить измерения ЭМП на рабочих местах? Вопрос остаётся открытым не только для предприятий, но и для разработчиков индукционных систем.

Другая немаловажная проблема заключается в том, что даже существующие нормы в ряде случаев не могут удовлетворить человечество. Идёт дискуссия о необходимости уменьшения уровней напряженности электрического и магнитного полей ещё как минимум на два порядка. Ярким примером заботы о человеке могут служить утверждённые нормы на ЭМП от персональных компьютеров [6]. Для характерных диапазонов частот от 50 Гц до 400 кГц отличие по составляющим напряжённости ЭМП в сравнении с промышленным оборудованием достигает 200 – 7500 раз. Чем отличается оператор ЭВМ от оператора индукционной установки с точки зрения воздействия на него электромагнитного поля? Скорее всего, ничем, и следовало бы пересмотреть нормы.

Анализ БИО-ЭМС

Исследования внешних ЭМП индукционных нагревателей и тигельных печей, проводимые на протяжении многих лет как в России, так и за рубежом, показали, что зона обслуживания вблизи работающей индуктирующей системы может быть вредной для человека при продолжительном времени воздействия [7 – 10]. Исходя из теории индукционного нагрева и практики проектирования индукторов, можно сделать вывод о том, что магнитное поле вызывает наибольшие проблемы, как правило, в относительно коротких системах с большими контурными токами. Линии равной напряжённости магнитного поля на относительно большом расстоянии от цилиндрического индуктора представляют собой эллипсоид вращения или шар.

Если система относительно длинная, то интенсивность поля наибольшая в торцевых зонах, а изолинии напряжённости

магнитного поля имеют форму, напоминающую гантель. Для нагревателя непрерывного действия, имеющего ряд последовательно расположенных индукторов, эта форма может быть достаточно сложной в зависимости от сдвига фаз в соседних секциях. В ряде случаев максимальное значение напряжённости магнитного поля находится не только в торцевых зонах на стороне загрузки и выгрузки заготовок, но и в зонах между соседними индукторами. Если сдвиг фаз тока в соседних секциях равен нулю, поле взаимно компенсируется в небольшом промежутке между ними. Однако в случае включения секций в противофазе оно суммируется. Зона вредного влияния при этом может иметь узкую диаграмму направленности и простирается на относительно большое расстояние от нагревателя. Это следует учитывать для проходных индукционных нагревателей длинномерных заготовок типа штанг, прутков или труб при выборе места расположения пульта управления или наблюдения за технологическим процессом.

Напряжённость электрического поля при небольших напряжениях на индукторе (как правило, до 1000 В) не столь существенна, как напряжённость магнитного поля, по крайней мере, по сравнению с существующими нормами. Как правило, проблемы могут возникать только вблизи расположения высоковольтных трансформаторов, которые предназначены для снижения напряжения на катушке индуктора или согласования параметров источника питания и загрузки.

Средства управления ЭМП

Для снижения внешних электромагнитных полей большое значение имеет то, какие средства управления ими могут быть для этого использованы. Из многообразия таких средств можно выделить некоторые, наиболее эффективные и доступные для использования. В общем случае имеются активные и пассивные средства.

Первые из них, как правило, основаны на создании встречного поля той же частоты, что и основное. Они достаточно эффективны, однако для их реализации требуются сложные системы подстройки, особенно при сильном изменении параметров во время нагрева, дополнительные затраты электроэнергии и материал. Такие средства управления целесообразно использовать только там, где другие не могут дать требуемого эффекта или для особых случаев получения значительного снижения ЭМП.

Вторые основаны на подавлении этого поля или концентрации магнитного потока внутри себя и за счёт этого уменьшения доли ЭМП в окружающем пространстве. Они более предпочтительны по сравнению с вышеупомянутыми активными средствами управления, поскольку не требуют специального обслуживания и сложных систем подстройки. В некоторых случаях их использования вполне достаточно для достижения поставленной цели.

К пассивным средствам управления относятся короткозамкнутые металлические витки или экраны, магнитопроводы, концентраторы (контроллеры) магнитного потока и некоторые другие. Особенностью индукционных систем является то, что при использовании высокой частоты питающего тока короткозамкнутые металлические части, располагаемые вблизи индуктора, сильно нагреваются из-за вихревых токов. Особенно это касается ферромагнитных материалов, таких как сталь или железо. То же самое относится и к экранам, которые пользуются большой популярностью для снижения проблем, связанных с ЭМС в радиопередающих или других системах, где ЭМП не столь интенсивны, как в данном случае. Сильное уменьшение внешних электромагнитных полей иногда удаётся получить, используя некоторые специальные металлизированные ткани.

Результаты исследований

Ниже приведены некоторые результаты исследований внешних магнитных по-

лей, проведённые на высокочастотных индукционных нагревателях типа ВЧГ, ВЧС и ЛЗ частотой тока 60 и 440 кГц, работающих на одном из металлургических заводов. Проблема в данном случае состоит в том, что технологический процесс проводится оператором вручную, и он долгое время вынужден находиться рядом с индуктором. Автоматизировать его не удаётся с силу ряда обстоятельств, большей частью технических. Нагревательная система, как правило, представляет собой одно или двух витковую катушку прямоугольного, овального или цилиндрического типа, внутри которой нагреваются стальные заготовки различного профиля.

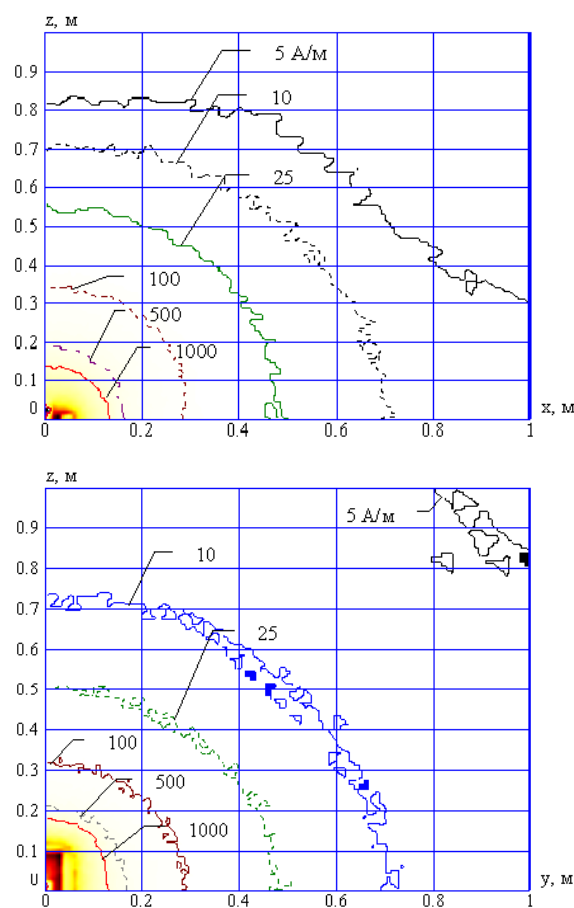


Рис. 1. Распределение напряжённости МП

Может проводиться закалка, наплавка резцов или другие технологические операции. Заготовки удерживаются вручную с помощью щипцов или укладываются на специальные направляющие, а припой и напаиваемые изделия приходится удерживать

живать и подправлять пинцетом или другим приспособлением.

На рис. 1 показаны расчётные кривые напряжённости магнитного поля от одновиткового индуктора с прямоугольным окном для двух координатных плоскостей, в которых может находиться человек.

Достоверность расчётов была проверена выборочными замерами напряжённости магнитного поля. Как видно из рис. 1, зона безвредного обслуживания при 8-ми часовом рабочем дне и предельно допустимом значении напряжённости 5 А/м должна находиться на расстоянии не менее 0,8 – 1,0 м от центра индуктора. Кратковременное пребывание при 50 А/м допустимо на расстоянии не менее 0,3 – 0,4 м.

Уменьшить магнитное поле можно с помощью одного из самых простых средств управления электромагнитным полем – наружного магнитопровода или концентратора магнитного потока, охватывающего индуктор с трёх сторон. В зависимости от магнитной проницаемости μ материала магнитопровода эффективность его различна (рис. 2).

Магнитопровод, обладающий магнитной проницаемостью 50 или более, имеет коэффициент экранирования 2 – 3. При этом эффективность его практически перестаёт зависеть с ростом μ . Небольшие значения магнитной проницаемости снижают внешнее магнитное поле, однако не

настолько сильно, как этого хотелось бы. В связи с этим их использование не может считаться эффективным.

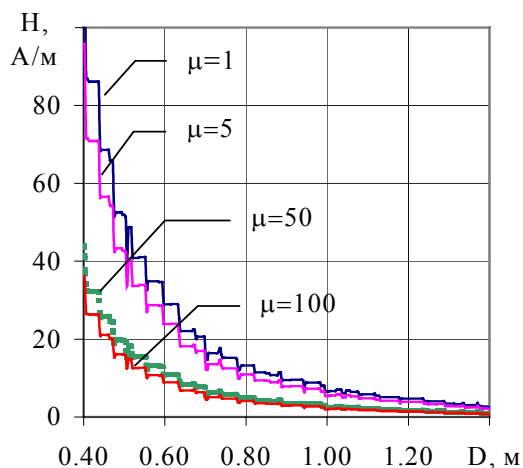


Рис. 2. Распределение напряжённости МП при различных значениях магнитной проницаемости магнитопровода

Заключение

Результаты выполненных исследований позволяют говорить о том, что проблема био-ЭМС некоторых типов индукционных систем существует до настоящего времени, однако её решение принципиально возможно не только в рамках существующих, но и более жёстких норм, которые, несомненно, нужно вводить в будущем.

Литература

1. ГОСТ 12.1.006 - 84*. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Введ. 01.01.86, с изм. №1, введ. 01.07.88. М.: Изд-во стандартов, 1985.
2. Санитарные правила и нормы № 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона. М.: Информ.-издат. центр Госкомсан-эпиднадзора России, 1996.
3. Human Exposure to Electromagnetic Fields – Low-frequency (0 – 10 kHz). European Prestandard ENV 50166-1, CENELEC, Brussel, 1995.
4. Human Exposure to Electromagnetic Fields – High-frequency (10 kHz – 300 MHz). European Prestandard ENV 50166-2, CENELEC, Brussel, 1995.
5. Dughiero F. Lupi S., Nemkov V., Palzev Y. Critical Review of Standards on Human Exposure to Electromagnetic Field. // EMC'94, Roma, Italy, 13-16 September 1994.
6. Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы: Санитарные правила и нормы. - М.: Информ.-изд. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996.
7. Буканин В. А., Зенков А. Е. Внешние магнитные поля плоских индукционных нагревателей. // “Белые ночи”. Сб. материалов научных чтений, 1-3 июня 1999, СПб., Международная академия наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – С. 293-296.

8. Буканин В. А., Немков В. С., Рудаков М. Л. Внешние электромагнитные поля высокочастотного электротермического оборудования. // Известия ГЭТУ. Сборник научных трудов; Вып. 509 – С. 63-67.

9. Battistetti M, Dughiero F, Forzan M. Investigation on Electromagnetic Fields in the Surrounding of Induction Heating Installations. // Proc. of the International Induction Heating Seminar, Padua, May 13-15, 1998. – Padua, 1998. – P. 473-477.

10. Krahlich M., Nauvertat G., Köller D., et al. Investigation of Electromagnetic Stray-Field in the Surrounding of Industrial Induction Furnaces and Heaters. // Proc. of the International Induction Heating Seminar, Padua, May 13-15, 1998. – Padua, 1998. – P. 479-486.

R. A. CHIZHENKOVA

Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences; Pushchino, Moscow region, 142290, Russia

NEURONAL ACTIVITY OF THE NEOCORTEX UNDER MICROWAVES: THE ROLE OF INTENSITY OF EXPOSURE

Аннотация. На кроликах исследованы импульсные потоки популяций нейронов сенсорной коры до, во время и после одномоментного СВЧ облучения (длина волны 37,5 см, ППМ от 0,2 до 40 мВт/см²). В результате данных воздействий происходили изменения со стороны межспайковых интервалов. При интенсивностях до 0,4 мВт/см² доминировали сдвиги в виде уменьшения средних величин межспайковых интервалов. При интенсивностях 0,5 мВт/см² и выше лидировали сдвиги противоположной направленности.

Introduction

In our previous investigations it was found that 1-min microwave exposure affected little on the mean frequency of background activity of single cortical neurons but produced significant shifts in neuronal evoked activity [2, 3].

The purpose of the present study was to consider influence of microwaves of different intensities on characteristics of interspike intervals in background activity of populations of cortical neurons and to carry out mathematical analysis of dependence of neuronal effects of microwave exposures on initials parameters of activity. The consideration of pulse flows of neuronal populations was more desirable than the activity of single neurons [1]. The point is that, individual accidental fluctuations are leveled and dominant changes are emphasized in neuronal populations [4]. Moreover, interspike intervals are more informative than mean spike frequency [5].

Methods

Experiments were carried out on 34 unanesthetized nonimmobilized rabbits with

electrodes preimplanted under barbital narcosis into sensorimotor region of the cortex for recording the neuronal spike activity. Pulse flows of populations of cortical neurons were investigated prior, during, and after 1-min microwave irradiation (wavelength 37.5 cm, power density from 0.2 till 40 mW/cm²). The characteristics of interspike intervals (total number of intervals, mean values of intervals and mean-square deviation) were calculated for 20-sec time intervals.

Results obtained during microwave exposure and for first minute after exposure were compared with the initial data using Student's *t* test and White, Fisher, and "Chi-square" criteria. In the control experiments the characteristics of the neuronal behavior without exposure were considered analogously.

Results

The experimental data were obtained from 206 exposures to microwaves, which yielded 5562 20-sec portions of neuronal recording.

The mean interspike intervals in the neuronal activity before exposure were small

(from 7.40 till 28.10 ms) with a relatively high mean-square deviations (from 8.68 till 43.54 ms), which points to a nonstationary process. However, because of the large volume of data (from 2135 till 8108 intervals per 20-sec time interval), the standard deviations (standard errors) of mean intervals were low (from 0.11 till 1.09 mc).

Changes of interspike intervals occurred through microwave exposures. Shifts as the decrease of mean values of interspike intervals predominated under irradiation if its intensity was below 0.4 mW/cm². Shifts of the opposite direction prevailed under irradiation if its intensity was beyond 0.5 mW/cm².

On the basis of correlational analysis it was found that positive relationships took place between investigated indices before the exposure, during it, and after its cessation (coefficient of correlation from 0.7 till 0.9, $p < 0.01$). Moreover, regression analysis

of dependence of values of indices during and after the exposure on the same events before the exposure made it possible to observe that the most equivalent description

was the linear function whose coefficients were mainly determined by intensity of irradiation.

Conclusion

Thus, it has been established that 1-min microwave exposures produce shifts in pulse flows of populations of cortical neurons. Changes of interspike intervals occur. Possibility of different effects of microwave exposures exists. Correlational and regression analyses of characteristics of neuronal pulse flow showed little significance of initial values of indices in direction of change of interspike intervals. At sufficient stability of experimental conditions, leading role in kind of rearrangements of activity of neuronal populations of the cortex belongs to intensity of irradiation.

Acknowledgement

Supported by Russian Foundation of Fundamental Researches (grant No. 00-04-48139).

References

1. Chizhenkova R.A. Structural-functional organization of sensorimotor cortex. Moscow: Nauka, 1986.
2. Chizhenkova R.A. //Bioelectromagnetics, 1988, v. 9, No 4, p. 337-345.
3. Chizhenkova R.A. //Electromagnetic fields: biological effects and hygienic standardization. Geneva: World Health Organization, 1999, p. 389-395.
4. Dormont J., Schmied A., Conde H. //Exp. Brain Res., 1982, v. 48, No 3, p. 315-322.
5. Johnson J.L. //Brain Res., 1994, v. 666, No 1, p. 125-129.