

3. Лагуткин М.Г., Некалин З.Е., Селезнев Г.М. Анализ влияния профиля и места расположения колец жесткости на металлоемкость цилиндрических обечаек// Безопасность труда в промышленности. — 2012. — № 8. — С. 64–69.

4. ГОСТ Р 52857.1—2007. Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность. Общие требования; введ. 01.04.2008. — М.: Стандартинформ, 2008.

lag53@yandex.ru

Материал поступил в редакцию 17 февраля 2014 г.

УДК 658.382  
© С.О. Белинский, 2014

## Снижение вредного воздействия электромагнитных полей на персонал электрифицированного транспорта



**С.О. Белинский,**  
канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВПО «Уральский  
государственный университет  
путей сообщения»

Приведены сведения о результатах теоретических и экспериментальных исследований параметров электромагнитных полей, в том числе в диапазоне 50 Гц и выше, на рабочих местах персонала электрифицированного транспорта. Оценена дозовая нагрузка воздействия электромагнитных полей на разные категории персонала. Представлены результаты разработки технических средств снижения вредного воздействия электромагнитных полей за счет применения устройств контроля и сигнализации, а также индивидуального дозиметра магнитных полей.

*Information about the results of theoretical and experimental research of parameters of electromagnetic fields, including in the range of 50 Hz and above, at the personnel work places of the electrified transport are given. The assessment of radiation exposure of different categories personnel to electromagnetic fields is provided. The Article presents the results of development of technical means of reducing electromagnetic fields harmful effects through the use of control devices and alarm systems, as well as magnetic fields individual dosimeter.*

**Ключевые слова:** электромагнитные поля, транспорт, персонал, тяговые подстанции, нормирование, допустимые уровни, доза, устройство контроля и сигнализации, дозиметр магнитных полей.

Электроустановки (ЭУ) электрифицированного транспорта — техногенные источники электромагнитного поля (ЭМП). Только в ОАО «РЖД» эксплуатируют более 160 дистанций электроснабжения с численностью персонала более 40 тыс. человек. Персонал ЭУ тягового электроснабжения подвергается воздействию комплекса вредных факторов производственной среды (тяжесть и напряженность труда, неблагоприятный микроклимат, вредное воздействие ЭМП и др.), что сказывается на состоянии здоровья, производительности и безопасности труда. Исследования вредного воздействия ЭМП на электротехнический персонал ЭУ тягового электроснабжения до сих пор не дают полного представления о риске повреждения здоровья [1]. Так, воздействие ЭМП может быть связано с повышенным риском возникновения заболеваний, в том числе онкологических (заболевания крови, головного мозга и др.). Международное агентство по исследованию рака (International Agency for Research on Cancer) отнесло фактор ЭМП к группе возможно канцерогенных факторов. В настоящее время установлено, что длительное воздействие ЭМП связано

с повышенным риском возникновения следующих онкологических заболеваний: глиома, менингиома, лейкоз. Установлены слабовыраженные специфические канцерогенные эффекты воздействия ЭМП в отдаленном периоде у работающих и их потомства.

Анализ нормирования параметров ЭМП низкочастотного диапазона разных стран показывает, что встречаются значительные расхождения (в десятки раз) предельно допустимых уровней (ПДУ) ЭМП для одного и того же диапазона частот. В государственной системе санитарно-эпидемиологического нормирования ЭМП в Российской Федерации [2] отсутствуют ПДУ, регламентирующие параметры ЭМП для производственных условий в ЭУ для диапазона частот от 50 Гц до 10 кГц, а также обобщенные критерии оценки одновременного воздействия на персонал электрической и магнитной составляющих нескольких частот.

С точки зрения нормирования ПДУ ЭМП важно выделить принятую Европарламентом и Советом Европейского союза Директиву 2004/40/ЕС [3], а также рекомендации Международной комиссии по защите от неионизирующих излучений

(International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection) [4], содержащие ПДУ ЭМП частот, для которых в России отсутствуют нормативы. Так, для частоты 100 Гц ПДУ составляет 5 кВ/м и 250 мкТл, для частоты 200 Гц — 2,5 кВ/м и 125 мкТл и так далее пропорционально частоте.

Ученые ФГБУ «НИИ МТ» РАМН разработали критерии воздействия ЭМП, которые в 2010 г. приняты как временные допустимые уровни для организаций, осуществляющих медицинскую деятельность, утверждены СанПиН 2.1.3.2630—10 [5]. Этим документом для рабочих мест персонала организаций, осуществляющих медицинскую деятельность, установлены ПДУ ЭМП диапазона частот от 50 Гц до 10 кГц: ПДУ напряженности электрического поля  $E = 500$  В/м, ПДУ напряженности магнитного поля  $H = 50$  А/м. В 2011 г. впервые определены ПДУ ЭМП для всего диапазона частот от 0 до 30 кГц для профессионального воздействия на любых рабочих местах (табл. 1) [6]. Указанные в табл. 1 значения не утверждены нормативным документом.

Таблица 1

Диапазон частот, Гц	ПДУ $E$ , кВ/м			ПДУ $H$ , А/м		
	при времени воздействия $t$ , ч					
	$t > 2$	$0,2 < t < 2$	$t < 0,2$	$t > 2$	$0,2 < t < 2$	$t < 0,2$
100	2,50	5,00	12,50	40	80	800
200	1,25	2,50	6,25	20	40	400
300–3000	0,80	1,60	4,00	15	30	270
3000–30 000	0,50	1,00	1,50	10	20	100

В результате проведенных в ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения» статистических исследований заболеваемости персонала железнодорожного транспорта, подвергающегося воздействию ЭМП и не работающего в условиях их воздействия, получено, что у первой категории работников относительное превышение числа заболеваний по сравнению со второй категорией составляет: по злокачественным опухолям — более чем в 6 раз, по заболеваниям крови — примерно в 6 раз, по заболеваниям системы кровообращения — более чем в 9 раз, эндокринной системы — более чем в 5 раз, нервной системы — более чем в 10 раз.

Таким образом, проблемы в нормировании ЭМП, а также современные данные о биологическом действии ЭМП требуют исследования их параметров, оценки воздействия на персонал, а также разработки и внедрения способов и средств защиты.

Автором проведены теоретические исследования напряженности электрического и магнитного полей частотой 50 Гц и выше на рабочих местах персонала, обслуживающего контактную сеть и тяговые подстанции постоянного и переменного тока [7–10]. Экспериментальные исследования параметров ЭМП проводили с 2004 по 2012 г. на станциях Дружинино (Свердловская железная дорога — филиал ОАО «РЖД»), Магнитогорск (грузовая Южно-Уральская железная дорога — филиал ОАО «РЖД») и на ряде тяговых подстанций Свердловской и Южно-Уральской железных дорог [11–13]. В результате построены зависимости параметров ЭМП для рабочих мест на контактной сети, тяговых подстанциях при разных условиях воздействия. Установлено, что для персонала ЭУ железнодорожного транспорта характерно наличие на рабочих местах электрического и магнитного полей частотой 50 Гц, постоянного магнитного поля, а также магнитного поля частотой 100, 200, 300, 400 Гц значительной напряженности. В отдельных рабочих зонах значения параметров ЭМП близки к ПДУ или превышают их. При этом индукция магнитного поля разной частоты значительно меняется во времени в зависимости от тягового тока.

В целях оценки вредного воздействия ЭМП на персонал электрифицированного транспорта с учетом результатов моделирования, инструментальных измерений и оценки времени нахождения персонала в рабочих зонах определены средневзвешенные значения параметров ЭМП (табл. 2).

Магнитные поля частотой более 50 Гц присутствуют на рабочих местах персонала тяговых подстанций постоянного тока: индукция магнитного поля частотой 100 Гц составляет 15 мкТл; 200 Гц — 5 мкТл; 300 Гц — 55 мкТл; 400 Гц — 1,5 мкТл; 600 Гц — менее 1 мкТл.

Учитывая, что персонал ЭУ подвергается интенсивному как по частоте, так и по амплитуде воздействию ЭМП, необходимо нормирование и защита

Таблица 2

Параметр ЭМП	Контактная сеть переменного тока		Контактная сеть постоянного тока		Тяговые подстанции переменного тока	Тяговые подстанции постоянного тока
	на высоте 1,8 м	на высоте контактного провода	на высоте 1,8 м	на высоте контактного провода		
Индукция постоянного магнитного поля $B$ , мкТл	—	—	400	2000	—	300
Напряженность электрического поля $E$ частотой 50 Гц, кВ/м	1,90	4,00	0,10	0,30	4,00	0,05
Индукция магнитного поля $B$ частотой 50 Гц, мкТл	35	300	1	3	60	6

персонала ЭУ от вредного воздействия ЭМП частотой до 1 кГц.

В общем виде для оценки воздействия ЭМП с учетом спектра частот, а также изменения во времени предлагается ввести показатели дозы полей электрического  $D_E$  и магнитного  $D_B$ , мкТл:

$$\left. \begin{aligned} D_E &= \sum_{i=0}^{10} \int_0^T E_i(t) dt; \\ D_B &= \sum_{i=0}^{10} \int_0^T B_i(t) dt, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $i$  — частота воздействующей гармоники параметра ЭМП, Гц, за рассматриваемый интервал времени  $T$ , ч (день, месяц, год);  $E_i(t)$ ,  $B_i(t)$  — функция соответственно напряженности электрического поля  $i$ -й частоты, В/м, и индукции магнитного поля  $i$ -й частоты, мкТл, от времени  $t$ .

Расчет по данным критериям может быть проведен только для отдельных частот, т.е. выполнить суммирование доз электрического и магнитного полей разных частот нельзя, так как не учитывается влияние ЭМП каждой частоты в общем (суммарном) воздействии.

Для оценки дозы можно использовать средневзвешенные значения, полученные за определенный интервал времени (час, смена). Предлагается перейти к определению условной дозы ЭМП фактической  $D_{B \text{ факт}}$  и ПДУ  $D_{B \text{ ПДУ}}$  с расчетом коэффициента дозы. Так,  $D_{B \text{ факт}}$ ,  $D_{B \text{ ПДУ}}$  и коэффициент дозы магнитного поля  $K_{BD}$  определяют в среднем за 1 ч в течение года по формулам:

$$\left. \begin{aligned} D_{B \text{ факт}} &= \frac{N_{\text{факт}} \int_0^T B(t) dt}{365 \cdot 24} = \frac{N_{\text{факт}} B_{\text{факт}} T_{\text{факт}}}{365 \cdot 24}; \\ D_{B \text{ ПДУ}} &= \frac{N_{\text{норм}} \int_0^T B_{\text{ПДУ}}(t) dt}{365 \cdot 24} = \frac{N_{\text{норм}} B_{\text{ПДУ}} T_{\text{норм}}}{365 \cdot 24}; \\ K_{BD} &= \sum_{i=0}^{1000} \frac{D_{B \text{ факт } i}}{D_{B \text{ ПДУ } i}}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $N_{\text{факт}}$ ,  $N_{\text{норм}}$  — число рабочих дней за год соответственно фактическое и нормативное;  $B_{\text{факт}}$ ,  $B_{\text{ПДУ}}$  — индукция магнитного поля соответственно фактическая и допустимая, мкТл;  $T_{\text{факт}}$ ,  $T_{\text{норм}}$  — продолжительность воздействия ЭМП в течение суток соответственно фактическая и нормативная, ч.

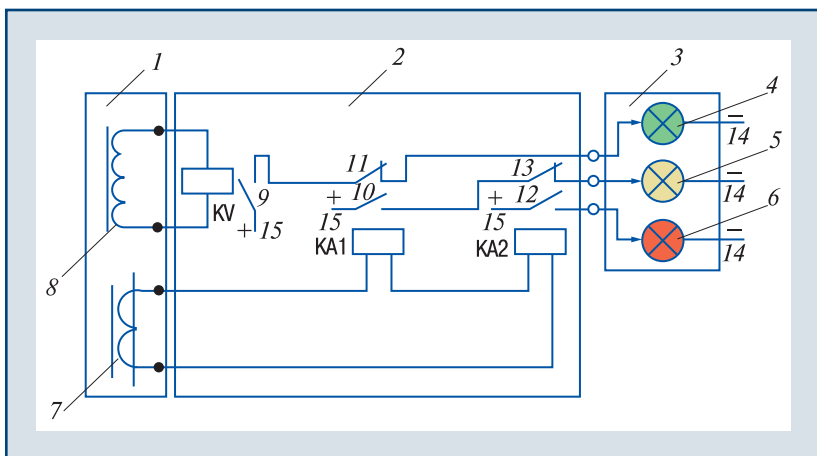
Аналогично по указанным формулам оценивают воздействие электрического поля на персонал.

Расчеты по указанным критериям показали, что для оперативно-ремонтного персонала тяговых подстанций постоянного тока условная доза магнитного поля частотой 300 Гц превышает условную дозу ПДУ, а по остальным рассматриваемым частотам

превышения нет. Коэффициент дозы для частоты 300 Гц составил 2,43, а суммарный коэффициент с учетом всех частот — 3,02. Аналогично были выполнены расчеты условной дозы для разных категорий работников для участков постоянного и переменного тока. На участках постоянного тока коэффициент дозы наибольший у оперативно-ремонтного персонала и персонала ремонтно-ревизионного участка, коэффициент дозы, близкий к ПДУ, установлен у дежурного персонала, на участках переменного тока коэффициент дозы превышает ПДУ для персонала контактной сети и оперативно-ремонтного персонала тяговой подстанции, для остальных категорий работников он не превышает ПДУ.

В целях учета и снижения вредного воздействия ЭМП на персонал ЭУ разработаны технические устройства защиты, например устройство контроля и сигнализации (рис. 1) [14]. Устройство включает блоки подключения 1, контроля и срабатывания 2, сигнализации 3. Протекание тока через первичную обмотку измерительного трансформатора тока ЭУ обуславливает протекание тока во вторичной обмотке 7 измерительного трансформатора тока, который пропорционален напряженности магнитного поля, создаваемого вблизи ЭУ. При протекании тока ЭУ, создающего напряженность магнитного поля, превышающую первую ступень контроля, срабатывает реле тока КА1, и его замыкающий блок-контакт 10 при размыкающем блок-контакте 13 реле тока КА2 замыкает цепь, от шин 14, 15 подается напряжение для питания желтой сигнальной лампы 5, указывающей персоналу на ограничение по времени нахождения на рабочем месте. При протекании тока ЭУ, создающего напряженность магнитного поля, превышающую вторую ступень контроля, срабатывает реле тока КА2, и его размыкающий блок-контакт 13 размыкает цепь питания желтой сигнальной лампы 5, а замыкающий блок-контакт 12 замыкает цепь, от шин 14, 15 подается напряжение для питания красной сигнальной лампы 6, указывающей персоналу на превышение допустимого значения параметра магнитного поля и запрет нахождения на рабочем месте.

При отсутствии тока ЭУ напряженность магнитного поля равна нулю. В этом случае замыкающий блок-контакт 10 реле тока КА1 и замыкающий блок-контакт 12 реле тока КА2 размыкают цепи питания желтой 5 и красной 6 сигнальных ламп. В случае отсутствия электрического тока, но при наличии напряжения на ЭУ реле напряжения KV третьей ступени контроля, подключенное ко вторичной обмотке измерительного трансформатора напряжения 8, срабатывает, его замыкающий блок-контакт 9 через размыкающий блок-контакт 11 замыкает цепь, и от шин 14, 15 подается напряжение для питания зеленой сигнальной лампы 4, указывающей на то, что воздействие ЭМП на рабочем месте допустимо, но ЭУ находится под напряжением. Такое устройство можно применять в любых ЭУ, имеющих изме-



▲ Рис. 1. Схема устройства контроля и сигнализации

рительные трансформаторы, где необходима защита персонала от воздействия ЭМП (рис. 2).



▲ Рис. 2. Варианты установки стационарного устройства контроля и сигнализации на тяговой подстанции

По результатам исследований установлено, что для объективной оценки влияния на персонал магнитных полей необходимо контролировать как интенсивность параметра, так и продолжительность воздействия — фактическую дозу магнитного поля.

Разработано устройство для непрерывного контроля во времени суммарной дозы магнитного поля частотой 50 Гц [15] — дозиметр магнитных полей частотой 50 Гц ДМП-05. Так как интенсивность магнитного поля, возникающего вблизи ЭУ, может резко изменяться в течение рабочей смены из-за изменения токовой нагрузки, места расположения персонала, то в каждом интервале времени определяют значение магнитного поля и с учетом времени его воздействия рассчитывают фактическую дозу и ее долю от предельно допустимой дозы. Функциональная блок-схема устройства представлена на рис. 3.

При нахождении трехкоординатного датчика приемной антенны 1 в зоне магнитного поля на его выходе возникает цифровой сигнал, пропорциональный параметру магнитного поля, подаваемый на усилитель 2. После усиления сигнала частотный фильтр 3 формирует его частотную характеристику. Полученный сигнал обрабатывается процессором

5 по специальной программе, выводится на дисплей 6 для отображения численного результата фактической суммарной дозы магнитного поля частотой 50 Гц как доли от предельно допустимой дозы, а при достижении долей значения, равного единице, — на динамик 7. Для питания устройства предусмотрены аккумуляторная батарея 8 и преобразователь напряжения 4.

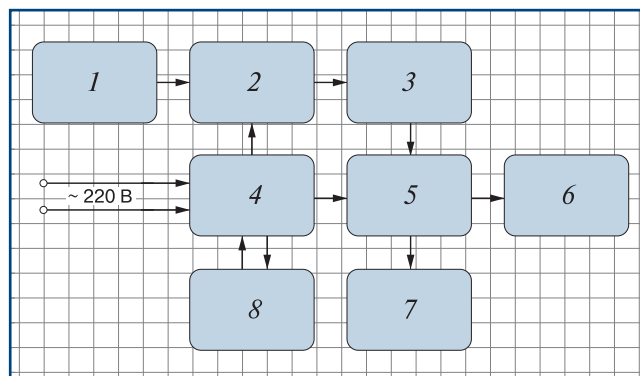
Специальная программа процессора 5 определяет фактическую суммарную дозу магнитного поля. Через каждые 2 с цифровой сигнал, пропорциональный значению магнитного поля, подаваемый в процессор 5,

запоминается для последующего вычисления его среднего значения за 1 мин. За это время рассчитывают фактическую дозу  $D_{\text{факт}}$  магнитного поля по соотношению  $D_{\text{факт}} = B\tau$ , где  $B$  — индукция магнитного поля в среднем за период времени  $\tau = 1$  мин. Затем по значению фактической дозы, полученной за 1 мин, рассчитывают ее долю от ПДУ дозы  $D_{\text{ПДУ}}$ . В течение рабочей смены (8–12 ч) каждую  $j$ -ю минуту на дисплей 6 выводят результат суммирования  $D_{\text{факт}}$  и ее доли от  $D_{\text{ПДУ}}$ :

$$\frac{\sum_{j=1}^n D_{\text{факт } j}}{D_{\text{ПДУ}}} = \frac{\tau \sum_{j=1}^n B_{\text{факт } j}}{B_{\text{ПДУ}} \tau_{\text{см}}} = \frac{\tau (B_{\text{факт } 1} + B_{\text{факт } 2} + B_{\text{факт } 3} + B_{\text{факт } n})}{B_{\text{ПДУ}} \tau_{\text{см}}}, \quad (3)$$

где  $n$  — число значений интенсивности параметра магнитного поля;  $\tau_{\text{см}}$  — продолжительность рабочей смены персонала, мин.

Предельно допустимый уровень дозы  $D_{\text{ПДУ}}$  магнитного поля частотой 50 Гц определяют в соответствии с действующими нормативами Российской Федерации для производственных условий, его задают и сохраняют в памяти процессора 5. При достижении суммарной  $D_{\text{факт}} = D_{\text{ПДУ}}$  процессор 5 подает сигнал на динамик 7.



▲ Рис. 3. Функциональная блок-схема устройства ДМП-05

Конструкция предлагаемого прибора позволяет использовать его как мобильное индивидуальное устройство для каждого работника, которое учитывает вредное воздействие магнитного поля, а также контролирует время допустимого воздействия. Таким образом, применение устройства обеспечивает постоянный контроль и предупреждает персонал о допустимом и вредном воздействии магнитного поля в течение смены. Устройство может использовать персонал при работе в любых ЭУ и зонах при наличии магнитного поля частотой 50 Гц.

#### Выводы

1. Анализ медико-биологических данных свидетельствует о возможном неблагоприятном воздействии на человека ЭМП низкочастотного диапазона на рабочих местах персонала электрифицированно-го транспорта.

2. Получены и исследованы спектральные характеристики ЭМП. Выявлены частоты ЭМП, требующие учета при воздействии на персонал (50, 100, 200, 300, 400, 600 Гц).

3. Расчеты параметров дозовой нагрузки показали превышение допустимой дозы для отдельных категорий работников на участках постоянного и переменного тока.

4. Для снижения воздействия ЭМП на персонал предложены новые методы и средства защиты: стационарные устройства контроля и сигнализации, устройства индивидуального учета дозы воздействия ЭМП.

#### Список литературы

1. *Белинский С.О., Кузнецов К.Б.* Риск вредного воздействия электрических и магнитных полей на персонал электроустановок тягового электроснабжения// *Электробезопасность*. — 2005. — № 4. — С. 3–9.
2. *СанПиН 2.2.4.1191–03.* Электромагнитные поля в производственных условиях. — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2011. — 38 с.
3. *Directive 2004/40/EC* (аутентичный перевод). — М.: ФГУП «Стандартинформ», 2005. — 27 с.
4. *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)*// *Health Physics*. — 1998. — № 74 (4). — P. 494–522.
5. *СанПиН 2.1.3.2630–10.* Санитарно-эпидемиологические требования к организациям, осуществляющим медицинскую деятельность// *Бюл. норматив. актов федер. органов исполнит. власти*. — 2010. — № 36. — 25 с.
6. *Проблемы и перспективы международной гармонизации гигиенических нормативов электромагнитных*

*полей/ Н.Б. Рубцова, Ю.П. Пальцев, Л.В. Походзей, С.Ю. Перов// Труды 9-го Междунар. симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии.* — СПб: Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», 2011. — С. 573–576.

7. *Кузнецов К.Б., Белинский С.О.* Сравнение моделей расчета электрического поля контактной сети переменного тока и оценка его вредного влияния// *Транспорт Урала*. — 2005. — № 1 (4). — С. 28–33.

8. *Кузнецов К.Б., Белинский С.О., Шишов А.Б.* Система защиты от электромагнитного загрязнения среды тяговыми сетями электрического рельсового транспорта// *Транспорт: наука, техника и управление*. — 2006. — № 11. — С. 27–31.

9. *Белинский С.О.* Электромагнитная совместимость электроустановок тягового электроснабжения и обслуживающего персонала: моногр. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2008. — 142 с.

10. *Белинский С.О.* Моделирование низкочастотных электромагнитных полей в электроустановках тягового электроснабжения// *Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф.* в 2 т.; под ред. А.И. Сидорова. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. — Т. 1. — С. 109–114.

11. *Белинский С.О.* Электромагнитная безопасность тяговых подстанций// *Семинар докторантов УрГУПС: сб. науч. докл.; под науч. ред. С.П. Баутина*. — Екатеринбург: Изд-во УрГУПС, 2013. — С. 23–46.

12. *Белинский С.О., Кузнецов К.Б.* Оценка параметров электромагнитных полей низкочастотного диапазона в электроустановках тягового электроснабжения// *Вестник Южно-Уральского государственного университета*. — Сер.: Энергетика. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ. — 2012. — № 16 (275). — С. 62–69.

13. *Белинский С.О., Кузнецов К.Б.* Оценка параметров электромагнитных полей частотой 50 Гц в РУ-3,3 кВ тяговых подстанций// *Безопасность жизнедеятельности: прил.* — 2012. — № 7. — С. 12–17.

14. *Пат. 2310875 С1* Рос. Федерация, МКП G01R 29/08 G01R 33/00. Способ определения параметров магнитного поля электроустановок и устройство для его осуществления/ С.О. Белинский, К.Б. Кузнецов; заявл. 16.05.2006; опубл. 20.11.2007, Бюл. № 32.

15. *Заявка на получение патента на изобретение № 2014108904.* Устройство для непрерывного контроля во времени суммарной дозы магнитного поля частотой 50 Гц/ С.О. Белинский. Приоритет Роспатента от 06.03.2014.

**SBelinsky@usurt.ru**

*Материал поступил в редакцию 2 апреля 2014 г.*