

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

А. А. Сошников, Е. В. Титов

*В статье рассмотрены вопросы реализации и оценки эффективности нового способа интегрированного контроля опасности электромагнитных излучений, а также определены перспективы его практического использования.*

*Ключевые слова: электромагнитная обстановка, источники электромагнитных излучений, компьютерное моделирование, интегрированный контроль электромагнитных излучений, картина опасности электромагнитных излучений.*

Проблема обеспечения электромагнитной безопасности в современном мире приобретает все большую значимость из-за неблагоприятных последствий для здоровья людей, подверженных постоянному воздействию электромагнитных излучений (ЭМИ). Источники ЭМИ получают все более широкое распространение, как в производственных, так и в бытовых условиях, поэтому возникает необходимость контроля уровней электромагнитных полей (ЭМП) [1].

При рассмотрении вопросов обеспечения электромагнитной безопасности необходимо учитывать возможность одновременного влияния нескольких источников ЭМИ. В этом случае оценивать состояние электромагнитной обстановки целесообразно по значению минимально допустимого времени пребывания человека в контролируемой зоне, соответствующему наиболее опасным составляющим действующих ЭМИ.

При использовании современных методов измерения определение этого времени является достаточно сложной задачей. Известные способы контроля электромагнитной обстановки ориентированы, как правило, на ограниченные диапазоны, например, только на электростатическое или постоянное магнитное поля, только на низкочастотный или высокочастотный спектры. Возможность использования измерительной аппаратуры часто ограничена узкой областью применения, например, только для оценки ЭМИ электронно-вычислительной техники. Кроме того, измерительная аппаратура не позволяет оценить опасность ЭМИ во всех точках контролируемого пространства, что потребовало бы проведения неограниченного числа измерений.

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова

(АлтГТУ) разработан способ интегрированного контроля электромагнитных излучений, который может использоваться для оценки электромагнитной обстановки на объектах с несколькими источниками ЭМИ [2-7]. Состояние электромагнитной обстановки на контролируемом объекте оценивается пространственной картиной электромагнитной опасности, представляющей собой карту допустимого времени пребывания человека в различных зонах исследуемого пространства, получаемую в результате выявления наиболее опасных составляющих ЭМИ от различных источников в диапазоне исследуемых частот и последующего компьютерного моделирования электромагнитного поля.

Опасные составляющие электромагнитных излучений соответствуют наименьшему допустимому значению времени пребывания человека [6] в точках измерения напряженностей электрических, магнитных полей и плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитных радиочастотных (РЧ) полей вблизи источников излучения на частотах, регламентированных действующими нормативными документами.

В процессе реализации способа:

- выявляются источники опасных электромагнитных излучений;

- измеряются нормируемые параметры электростатического, переменных электрического, магнитного и электромагнитного полей на частотах: 0 Гц, 50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц, 300 МГц и при необходимости на более высоких частотах (до 300 ГГц) на расстояниях 0,1 м (или более, при уровнях излучений, превышающих диапазон измерения используемой аппаратуры) от центра внешних поверхностей каждого источника излучения; при этом учитываются только наибольшие значения напряженностей элек-

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

трического, магнитного полей и плотности потока энергии;

- производится компьютерное моделирование пространственной картины ЭМП, создаваемых источниками ЭМИ, для которых измеренные параметры ЭМП соответствуют наименьшему допустимому времени пребывания людей в точках измерения;

- о состоянии электромагнитной обстановки судят по полученной пространственной картине опасности ЭМИ, преобразуя узловые значения шкалы напряженности электрического или магнитного полей или плотности потока энергии в узловые значения допустимого времени пребывания, формируя шкалу допустимого времени и заменяя шкалу поля на шкалу допустимого времени пребывания в опасных зонах объекта.

Моделирование электромагнитных полей позволяет решать задачи определения

мероприятий по нормализации электромагнитной обстановки в помещениях с источниками ЭМИ, в том числе [4]:

- выбор способов организации рабочих мест;

- выбор мер защиты от электромагнитного излучения;

- обоснование целесообразности замены оборудования.

Для оценки эффективности предложенного способа в АлтГТУ создана экспериментальная лабораторная установка на базе микроволновой печи «Dialog» (мощностью 900 Вт и рабочей частотой 2450 МГц), имитирующая технологический процесс предпосевной обработки семян в СВЧ-поле.

На рисунке 1 представлен план исследуемого помещения с СВЧ-установкой.

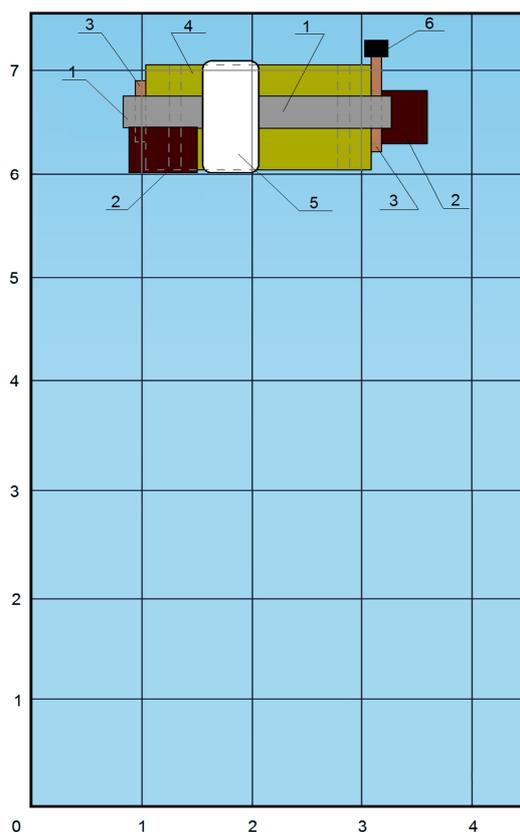


Рисунок 1 – План исследуемого помещения

1 – транспортная лента с ячейками; 2 – бункер; 3 – барабан;  
4 – стол; 5 – СВЧ-камера; 6 – электродвигатель

Измерения уровней напряженности электрического, магнитного полей и плотности потока энергии производились на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры на частотах: 50 Гц, 30 кГц, 3

МГц, 30 МГц, 50 МГц, 300 МГц и 2450 МГц с помощью приборов ПЗ-50, ПЗ-41. Результаты измерений приведены в таблицах 1, 2, где выделены значения, превышающие предельно-допустимый уровень (ПДУ).

Таблица 1 – Результаты измерений напряженности электрического поля и плотности потока энергии на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры

Расстояние между измерительным преобразователем и передней стенкой СВЧ-камеры, м	Напряженность электрического поля, В/м					Плотность потока энергии, мкВт/см <sup>2</sup>	
	Измерительные приборы / измерительные преобразователи						
	ПЗ-50/ АП ЕЗ-50	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-3	ПЗ-41/ АП-1	ПЗ-41/ АП-1
	Контролируемая частота						
	50 Гц	0,03 МГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц	300 МГц	2450 МГц
0,5	более 180000	1054,24	более 500	349,22	138,41	464,21	483,61
1,0	177000	723,45	388,07	339,09	116,24	205,34	343,82
1,5	17510	645,51	337,15	232,75	80,55	86,42	73,58
2,0	15340	599,02	310,83	212,80	73,89	54,32	52,81
	Предельно допустимый уровень						
	5000	25	15	10	3	10	10

По результатам исследований (таблица 1), напряженность электрического поля на расстоянии 0,5 м превышает ПДУ на частотах: 50 Гц, 0,03 МГц, 3 МГц, 30 МГц и 50 МГц, соответственно, в 36, 42, 33, 35 и 46 раз. ППЭ электромагнитного СВЧ-поля на расстоянии

0,5 м превышает ПДУ на частотах: 300 МГц, 2450 МГц, соответственно, в 46 и 48 раз. Безопасные уровни переменного электрического и сверхвысокочастотного полей достигаются на расстоянии более 2 м.

Таблица 2 – Результаты измерений напряженности магнитного поля на расстояниях от 0,5 м до 2 м от передней стенки СВЧ-камеры

Расстояние между измерительным преобразователем и передней стенкой СВЧ-камеры, м	Напряженность магнитного поля, А/м				
	Измерительные приборы / измерительные преобразователи				
	ПЗ-50/ АП НЗ-50	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5	ПЗ-41/ АП-5
	Контролируемая частота				
	50 Гц	0,03 МГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц
0,5	244,50	12,97	9,77	2,8542	5,8535
1,0	110,28	2,53	2,49	2,8271	3,2301
1,5	18,50	2,06	2,34	2,7838	2,9433
2,0	1,90	2,08	1,62	2,7649	2,7332
	Предельно допустимый уровень				
	80	50	50	3	3

Уровень напряженности магнитного поля (таблица 2), на расстоянии 0,5 м превышает ПДУ на частотах 50 Гц и 50 МГц более чем в 3 и в 2 раза соответственно. При отсутствии средств защиты безопасные уровни магнитного поля достигаются на расстоянии более 1 м.

По результатам сопоставления допустимого времени пребывания человека в электрическом и магнитном полях промышленной частоты, в электромагнитном поле РЧ и СВЧ диапазонов наиболее опасным по уровню ЭМИ является электромагнитное поле частотой 2450 МГц.

Измеренные значения ППЭ электромагнитного поля частотой 2450 МГц использовались для компьютерного моделирования ЭМИ, проводимого в среде COMSOL Multiphysics [8].

На рисунке 2 представлен результат преобразования модели распределения ППЭ электромагнитного СВЧ-поля в картину опасности ЭМИ по критерию допустимого времени. На этой картине показаны зоны допустимого времени пребывания людей при работе СВЧ-установки в виде изоповерхностей, окрашенных в различные цвета в зависимости от числового значения допустимого времени.

В соответствии с картиной опасности приближение на расстояние менее 0,5 м к СВЧ-камере недопустимо. В зоне от 0,5 м до 1,5 м пребывание человека не должно превышать 8 мин, в зоне от 1,5 м до 3 м – 20 мин. На расстоянии более 3 м можно находиться в течение всей рабочей смены.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Таким образом, работа с СВЧ-установкой без применения защитных мероприятий должна быть запрещена.

Обоснованный выбор эффективных защитных мероприятий может быть произведен

по результатам анализа полученной пространственной картины опасности электромагнитных излучений.

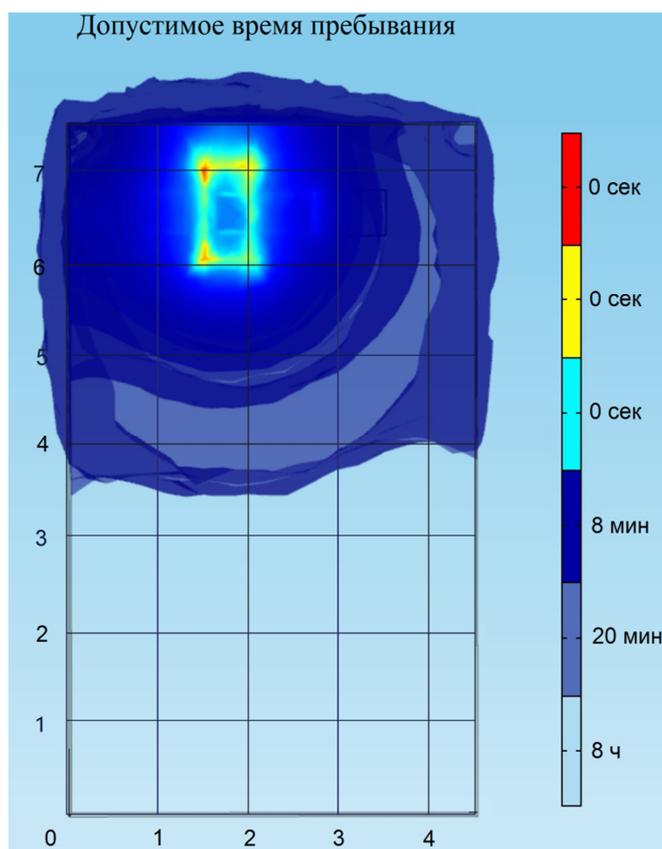


Рисунок 2 – Картина опасности электромагнитного излучения

Экономическая эффективность предложенного способа контроля опасности ЭМИ может быть оценена по затратам на его реализацию в сравнении с известными методиками измерения параметров ЭМП. По оценочным расчетам [9] средние удельные затраты на обследование одного объекта (аналогичного рассмотренному выше) предложенным способом составляют около 740 руб, в то время как затраты на проведение многократных измерений, в соответствии с действующими методиками, составят более 2200 руб. Уменьшение затрат на проведение обследования обусловлено существенным уменьшением времени исследования электромагнитной обстановки.

В то же время в качестве основного результата проведенных исследований необходимо рассматривать не экономический, а социальный эффект, обусловленный, прежде всего упорядочением процесса оценки состо-

яния электромагнитной обстановки на объектах с несколькими источниками ЭМИ. При этом не только снижается трудоемкость, но и повышается достоверность результатов контроля, а полученная пространственная картина опасности ЭМИ позволяет обоснованно выбирать защитные мероприятия в условиях экономических и технических ограничений.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют рекомендовать предложенный способ интегрированного контроля ЭМИ для широкого практического использования. С этой целью предусмотрено создание аппаратно-программного обеспечения на основе автоматизированного многочастотного измерителя параметров ЭМП, реализующего компьютерное представление картины опасности, как по результатам пространственного моделирования составляющих поля, так и с помощью карты допустимого времени пребывания человека в различных зонах исследуе-

мого пространства, получаемой в результате выявления наиболее опасных составляющих ЭМИ от различных источников в диапазоне исследуемых частот.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее [Электронный ресурс] – Электрон. текстовые дан. – Электромагнитная безопасность: взгляд в будущее, 2009. – Режим доступа : [http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb\\_bud.html](http://www.beztrud.narod.ru/statya/emb_bud.html), свободный. – Загл. с экрана.

2 Пат. 2476894. Российская федерация МПК7 G 01 R 29/08. Способ контроля электромагнитной безопасности [Текст] / Н.П. Воробьев, О.К. Никольский, А.А. Сошников, Е.В. Титов / патенто-обладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ). – № 2011113569/28; заявл. 07.04.2011; опубл. 27.02.2013.

3 Титов, Е.В. Методика контроля электромагнитной обстановки на объектах АПК [Текст] / Е.В. Титов, И.Е. Мигалев // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2012. – № 7. – С. 136 - 138.

4 Воробьев, Н.П. Использование компьютерного моделирования для оценки электромагнитных загрязнений [Текст] / Н.П. Воробьев, А.А. Сошников, Е.В. Титов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2009. – № 4. – С.31 - 33.

5 Сошников, А.А. Развитие методов инструментального контроля состояния электромагнит-

ной безопасности [Текст] / А.А. Сошников, Е.В. Титов // Международный научный журнал. – Москва, 2010. – № 4. – С.97 - 99.

6 Сошников, А.А. Контроль электромагнитной обстановки на объектах с источниками электромагнитных излучений [Текст] / А.А. Сошников, Н.П. Воробьев, Е.В. Титов // Ползуновский вестник. – Барнаул, 2012. – № 4. – С.64 - 68.

7 Титов, Е.В. Анализ опасности электромагнитных излучений в помещениях [Текст] / Е.В. Титов // Вестник АГАУ. – Барнаул, 2012. – № 12 (98). – С. 94 – 97.

8 Шмелев В. Е. Femlab 2.3. // Центр компетенций MathWorks [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – СПб., [2008]. – Режим доступа : <http://matlab.exponenta.ru/femlab/book1>, свободный. – Загл. с экрана.

9 Кузьмина, М. С. Учет затрат, калькулирование и бюджетирование в отраслях производственной сферы [Текст] : учеб. пособие / М. С. Кузьмина. – М. : КноРус, 2012. – 256 с.

**Сошников А. А.** - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», д.т.н., профессор,  
E-mail: [elnis@inbox.ru](mailto:elnis@inbox.ru),  
тел. (385-2) 36-71-29.

**Титов Е. В.** - АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра «Электрификация производства и быта», к.т.н., ст. преподаватель,  
E-mail: [1kazak1@mail.ru](mailto:1kazak1@mail.ru),  
тел. (3852) 24-74-88, 36-71-29.