

### **Форма 501. КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ**

- 1.1. *Номер проекта* 08-07-97000
- 1.2. *Руководитель проекта* Елягин Сергей Владимирович
- 1.3. *Название проекта* Математическое моделирование и исследование средств бытовой защиты жилых помещений от внешнего электромагнитного излучения сетей радиосвязи
- 1.4. *Вид конкурса* *p\_поволжье\_a* - Региональный конкурс ПОВОЛЖЬЕ
- 1.5. *Год представления отчета* 2009
- 1.6. *Вид отчета* итоговый (2008)
- 1.7. *Аннотация*

За отчетный период была проделана следующая работа.

Проведен мониторинг и анализ уровня электромагнитного поля на территории вблизи антенн стандарта GSM. Обосновано математическое выражение, позволяющее определять места с наибольшим уровнем плотности потока мощности. Предложены методы обработки экспериментальных данных с целью выявления подобных мест, а также определения наибольшего значения уровня плотности потока мощности в этом месте. Даны рекомендации по методике измерения уровня сигнала антенн GSM. Установлена слабая зависимость величины ослабления электромагнитного экрана от толщины металлизированного слоя и наличия заземления. Установлена линейная зависимость между уровнем сигнала вблизи оконного проема и уровнем сигнала внутри помещения, как при наличии экрана, так и без экрана. Установлено, что уровень сигнала внутри помещения определяется уровнем сигнала вблизи оконного проема и практически не зависит от конструктивных особенностей зданий и внутренней обстановки помещения. Выявлена низкая эффективность электромагнитных экранов, устанавливаемых в оконных проемах.

- 1.8. *Полное название организации, где выполняется проект*  
ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет

### **Форма 502. КРАТКИЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ НА АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКЕ**

- 2.1. *Номер проекта* 08-07-97000
- 2.2. *Руководитель проекта* Elyagin Sergei Vladimirovich
- 2.3. *Название проекта* Mathematical modelling and investigation of the means of common protection of living rooms from external electromagnetic emission of radio networks
- 2.4. *Год представления отчета* 2009
- 2.5. *Вид отчета* итоговый (2008)
- 2.6. *Аннотация*

During the period under review the following work has been done.

Monitoring and analysis of the electromagnetic field level in the territory near GSM antennas has been carried out. The mathematical expression enabling to locate places with maximum level of power flux density is justified. Methods of experimental data processing for the purpose of such places exposure and determination of power flux density maximum level in a given place are proposed. Recommendations on GSM antennas signal level measurement technique are given. A weak dependence of electromagnetic screen attenuation value versus metallized layer thickness and availability of ground connection has been established. A linear dependence between signal level near window opening and indoor signal level both in the presence of a screen and without a screen has been established. It is ascertained that the indoor signal level is determined by the signal level near window opening and is practically independent of the building design philosophy and indoor situation. Low effectiveness of electromagnetic screens mounted in window openings is revealed.

- 2.7. *Полное название организации, где выполняется проект* Ulyanovsk State Technical University

### **Форма 503. РАЗВЕРНУТЫЙ НАУЧНЫЙ ОТЧЕТ**

- 3.1. *Номер проекта* 08-07-97000
- 3.2. *Название проекта* Математическое моделирование и исследование средств бытовой защиты жилых помещений от внешнего электромагнитного излучения сетей радиосвязи
- 3.3. *Коды классификатора, соответствующие содержанию фактически проделанной работы*  
07-820 07-530
- 3.4. *Объявленные ранее (в исходной заявке) цели проекта на 2008 год*

Основной целью проекта является:

1. Выявление уровня непрофессионального воздействия облучения на население, проживающее на прилегающей к антеннам базовых станций территории;
2. Изучение и разработка методов бытовой защиты от непрофессионального воздействия облучения, превышающего установленные нормы.

Для достижения поставленной цели в соответствии с общим планом работ по проекту планировалось решение следующих задач:

- Исследование электромагнитного фона в густонаселенных территориях, находящихся в непосредственной близости к антеннам базовых станций, статистическое моделирование результатов исследования.
- Разработка и исследование экспериментального образца бытового электромагнитного экрана.
- Разработка и исследование математической модели различных видов бытового электромагнитного экрана для жилых помещений.
- Анализ результатов исследования и формирование рекомендаций по использованию бытового

- электромагнитного экрана.
- 3.5. *Степень выполнения поставленных в проекте задач*  
Все запланированные научные результаты получены:  
– Исследован электромагнитный фон на территориях, находящихся в непосредственной близости к антеннам базовых станций. Выполнено статистическое моделирование результатов исследования.  
– Разработан и исследован ряд экспериментальных образцов бытовых электромагнитных экранов.  
– Разработана и исследована математическая модель электромагнитного экрана для жилых помещений. Показана эффективность электромагнитного экрана и его влияние на уровень электромагнитного поля в помещениях.  
– Выполнен анализ результатов исследования электромагнитных экранов. Даны рекомендации по использованию бытового электромагнитного экрана.
- 3.6. *Полученные за отчетный период важнейшие результаты*  
При выполнении проекта получены следующие основные результаты.  
1. Решение задачи построения распределения плотности потока мощности на территории вблизи антенн потребовало разработки и изготовления мобильного измерительного терминала, позволяющего осуществлять измерение плотности потока мощности с одновременным фиксированием географических координат, высоты точки измерения, даты и времени измерения (получен патент на полезную модель) [1, 2, 4]. Для статистического моделирования результатов исследования была разработана компьютерная программа, позволяющая выполнять анализ накопленных измерительных данных с привязкой к местности и высоте точки измерения [3]. Обосновано математическое выражение, позволяющее определять участки местности с наибольшим уровнем плотности потока мощности. При этом учитываются реальные параметры излучающих антенн стандарта GSM [7]. Были предложены и обоснованы два метода обработки измерительных данных, позволяющие определять критическую дальность от антенны до точки с наибольшим уровнем плотности потока мощности, а также метод определения значения плотности потока мощности в этой точке [7]. Предложен критерий прогнозирования мест с наибольшим уровнем плотности потока мощности [6]. Таким образом, предложены механизмы анализа и оценки точки местности на предмет наличия наибольшего значения плотности потока мощности.  
2. При исследованиях использовались четыре типа электромагнитных экранов, подключаемые к проводу заземления. Для определения свойств экранов от излучения систем связи первоначальные исследования проводились на открытой местности вблизи работающих антенн стандарта GSM с помощью мобильного измерительного терминала. Установлено, что для минимизации среднеквадратического отклонения (СКО) уровня сигнала в точке приема необходимо осуществлять четыре повторных измерения, причем, продолжительность измерения должна составлять три минуты [5]. Показано, что за оценку значения плотности потока мощности с целью минимизации СКО следует принимать оценку математического ожидания результатов измерения. Показана, слабая зависимость ослабления экрана от наличия или отсутствия заземления. Показано, что полученные значения ослабления слабо зависят от толщины металлизированного слоя в диапазоне рабочих частот стандарта GSM. Получены предельно достижимые значения ослабления электромагнитных экранов [5].  
3. Исследованы основные свойства электромагнитных экранов, устанавливаемых в оконных проемах жилых помещений. Установлена линейная зависимость между уровнем сигнала вблизи оконного проема и уровнем сигнала внутри помещения, как при наличии экрана, так и при его отсутствии. Причем наличие экрана повышает уровень линейной связи [6]. Установлено, что основной вклад в уровень сигнала внутри помещения вносит электромагнитное излучение, проникающее через оконный проем. Поэтому, влиянием конструктивных особенностей жилых помещений и внутренней обстановки с достаточной степенью точности можно пренебречь. Таким образом, значительно уменьшается число параметров, которые влияют на величину ослабления электромагнитного экрана, устанавливаемого в оконном проеме.  
4. Определено значение ослабления электромагнитных экранов устанавливаемых в оконных проемах. Показана низкая эффективность подобных экранов [6]. В качестве экрана, примерно с одинаковой эффективностью могут быть использованы различные диэлектрические пленки с металлизированным напылением. Использование заземления не дает существенного выигрыша.
- 3.7. *Степень новизны полученных результатов*  
Обоснованно математическое выражение, позволяющее прогнозировать участки местности с высоким уровнем плотности потока мощности. Задача анализа плотности потока мощности на территории, прилегающей к антеннам в настоящее время решается путем выборочного, точечного измерения. Предложенная методика привязки уровня сигнала к географическим координатам и высоте точки измерения позволяет строить карты электромагнитного загрязнения местности. Предложено и обосновано математическое выражение, позволяющее прогнозировать места с наибольшим уровнем электромагнитного поля. В математическом выражении учитываются реальные параметры передающей антенны, используется более простое выражение для описания диаграммы направленности антенны и применяется однолучевая модель распространения сигнала, что уменьшает вычислительные затраты. Проведенный анализ сигнала антенн GSM позволил сформировать критерий измерения значения уровня сигнала с минимальным среднеквадратическим отклонением, что позволило использовать сигнал работающих антенн стандарта GSM в качестве тестового сигнала при анализе величины ослабления экранов. Показано слабое влияние типа здания, номера этажа и внутренней обстановки жилого помещения на уровень сигнала внутри помещения. Установлена линейная зависимость между уровнем сигнала вблизи оконного проема и

- уровнем сигнала внутри помещения, как при наличии экрана, так и при его отсутствии. Показано, что уровень поля внутри помещения определяется примерно на 90% значением уровня сигнала вблизи оконного проема.
- 3.8. *Сопоставление полученных результатов с мировым уровнем*  
Проблемы электромагнитного мониторинга излучающих антенн стали актуальными, начиная с середины 70-х годов прошлого века. Исследованиям в этой области посвящены работы Шередыко Е.Ю. Сподобаева Ю.М., Кубанова В.П., Бузова А.Л., Казанского Л.С. В настоящее время уровень сигнала стандарта GSM в заданной точке вычисляется по приближенным моделям распространения сигнала (модель Okumura-Hata, модель COST231-Hata, модель COST-Walfish-Ikegami). Причем существует ограничение на минимальную дальность до антенн, на которой эти модели справедливы. Кроме того, данные модели учитывают многолучевость распространения сигнала. Предложенный подход к определению мест с высоким уровнем плотности потока мощности, справедлив вблизи работающих антенн и использует более простую однолучевую модель распространения сигнала в открытом пространстве. Полученные результаты позволяют упростить анализ уровня сигнала внутри помещения за счет пренебрежения конструктивными особенностями (тип материала, толщина стен и перекрытий, и т. п.) зданий, которые в настоящее время имеют большое разнообразие и обладают различным ослаблением электромагнитного излучения. Таким образом, уровень сигнала вблизи оконного проема определяет уровень сигнала внутри помещения, а прохождением сигнала через стены и межэтажные перекрытия можно пренебречь.
- 3.9. *Методы и подходы, использованные в ходе выполнения проекта*  
При выполнении проекта использовались эмпирические методы, позволяющие выявить закономерности и особенности полученных экспериментальных измерительных данных. Проводилась статистическая обработка результатов измерений с целью обоснования выдвигаемых гипотез о наличии связи между параметрами измерительных данных.
- 3.10.1. *Количество научных работ, опубликованных в ходе выполнения проекта 7*
- 3.15. *Адреса (полностью) ресурсов в Internet, подготовленных авторами по данному проекту*  
<http://tk.ulstu.ru/grant080797000.php>
- 3.16. *Библиографический список всех публикаций по проекту*
- Армер А.И. Подход к разработке методики мониторинга зон с превышением предельно допустимых норм электромагнитного излучения / Армер А.И., Елягин С.В. // LXIII Научная сессия, посвященная Дню радио: Труды. – М.: НТО РЭС им. А.С. Попова. – 2008. – С. 81 – 82.
  - Елягин С.В. Мобильное устройство экологического мониторинга уровня электромагнитного поля / Елягин С.В., Армер А.И. // Современные проблемы науки и образования. – 2008. – № 4 (июль - август). – С.30-34. НТЦ «ИНФОРМРЕГИСТР» №0420800037\0078.
  - Армер А.И. Создание карты электромагнитного загрязнения территории / Армер А.И., Елягин С.В. // Проблемы электромагнитной экологии в науке, технике и образовании. VII международный научно-практический семинар (г. Ульяновск, 10 октября 2008 г.) : сборник научных трудов / под ред. В. В. Савиных. – Ульяновск: УлГТУ, – 2008. – С. 49-52.
  - Елягин С.В. Измерение плотности потока мощности с помощью мобильного измерительного терминала // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2008. – №2. – С. 56-58.
  - Елягин С.В. Анализ эффективности электромагнитных экранов от излучения антенн стандарта GSM // Радиоэлектронная техника : межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В.А. Сергеева. – Ульяновск : УлГТУ. – 2008. – С. 29-33.
  - Елягин С.В. Результаты анализа эффективности электромагнитных экранов // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2008. – №3. – С. 47-50.
  - Елягин С.В. Анализ плотности потока мощности (ППМ) вблизи излучающих антенн // Вестник Ульяновского государственного технического университета. – 2008. – №4. – С. 51-54.
- Дополнительные сведения по проекту*
- Пат. на полезную модель №73144 Российская Федерация, МПК7 H04Q9/00. Мобильный измерительный терминал уровня электромагнитного поля / Елягин С.В., Армер А.И.; заявитель и патентообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. Бюл. №13, 10.05.2008.
  - Серебряная медаль за проект «Мобильный измерительный терминал уровня электромагнитного поля». 36-й Международный салон изобретений. г. Женева, выставочный центр Palexro 2-6 апреля 2008 г.
  - Медаль "Лауреат ВВЦ" за проект «Мобильный измерительный терминал уровня электромагнитного поля». VIII Всероссийская выставка научно-технического творчества молодежи НТТМ-2008 г. Москва, павильон № 57 ВВЦ 25-28 июня 2008 г.
  - Дипломом за первое место в Областном конкурсе «На лучшее техническое решение, изобретение, полезную модель, промышленный образец и рационализаторское предложение». Проект «Мобильный измерительный терминал уровня электромагнитного поля» г. Ульяновск.
  - Участие с проектом «Система мониторинга уровня электромагнитного поля». Третья Казанская венчурная ярмарка г. Казань 4 июля 2008 г.
  - Участие с проектом «Система мониторинга уровня электромагнитного поля». I Российский Форум «Российским инновациям – Российский капитал». Республика Чувашия, г. Чебоксары 18-20 июня 2008 г.