



УДК 537.8:631.17

Е.В. Титов, А.А. Сошников, Л.В. Куликова
Ye.V. Titov, A.A. Soshnikov, L.V. Kulikova

ОЦЕНКА ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ МНОГОСЛОЙНОГО ЭКРАНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ШИРОКОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ

EVALUATION OF THE DEGREE OF ELECTRIC FIELD ATTENUATION IN A WIDE FREQUENCY RANGE USING A MULTILAYER SCREEN

Ключевые слова: электромагнитные излучения, электрическое поле, многослойный экран, защитное экранирование, степень ослабления поля, сотовый телефон, блок бесперебойного питания.

Рассматриваются вопросы обеспечения электромагнитной безопасности на объектах агропромышленного комплекса с источниками электромагнитного излучения (ЭМИ) широкого диапазона частот. Отмечено, что наиболее распространенным техническим мероприятием по обеспечению электромагнитной безопасности является экранирование источников электромагнитного излучения или защищаемых объектов. Обеспечение электромагнитной безопасности при одновременном воздействии электромагнитных полей (ЭМП) в широком частотном диапазоне является сложной задачей. Известные экранирующие материалы не обеспечивают надёжной защиты от неионизирующих излучений во всём спектре нормированных частот, а наиболее эффективные из них имеют высокую ценовую категорию. Поэтому предложено использование многослойного экрана для эффективного ослабления электромагнитных излучений в широком частотном диапазоне, характеризующим также сниженной трудоёмкостью изготовления. Представлены результаты экспериментальных исследований и приведены графические зависимости характера изменения в пространстве электрического поля в диапазоне от 50 Гц до 300 МГц от двух источников излучения (сотовый телефон и блок бесперебойного питания) при отсутствии и наличии экрана для различных ситуаций его установки. Приведена оценка степени ослабления электрического поля для рассмотренных частот. На основании проведённых исследований установлено, что разработанный экран обеспечивает ослабление до 10 раз и более электрического поля во всех нормируемых диапазонах с верхними граничными частотами 50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц и 300 МГц. Сформулирован вывод о возможности использования многослойного экрана для нормализации

электромагнитной обстановки на любых коммунально-бытовых и промышленных объектах агропромышленного комплекса в условиях неагрессивной окружающей среды.

Keywords: electromagnetic radiation, electric field, multilayer screen, protective shielding, field attenuation degree, cell phone, uninterruptible power supply.

The issues of ensuring electromagnetic safety on facilities of the agro-industrial complex with sources of electromagnetic radiation (EMR) of a wide range of frequencies are discussed. The most common technical measure to ensure electromagnetic safety is shielding the sources of electromagnetic radiation or protected objects. It is a complex problem to provide an electromagnetic safety under the conditions of simultaneous activity of electromagnetic fields (EMF) in a wide frequency range. The known shielding materials do not provide a reliable protection from nonionizing radiation at the whole standardized frequency range, and the most effective of them have a high price category. Therefore, it is proposed to use a multilayer screen for efficient reduction of electromagnetic radiation in a wide frequency range which is also characterized by a reduced manufacturing content. The paper discusses the results of experimental studies and charts of the electric field from two radiation sources (cell phone and uninterruptible power supply) in space at the 50 Hz to 300 MHz frequency range depending on the shield placement and availability. The electric field reduction on the controlled frequencies is evaluated. It is shown that the developed multilayer screen provides high efficiency of electric field shielding. It is shown that the developed screen provides high efficiency of electric field shielding in all normalized frequency ranges: 50 Hz, 30 kHz, 3 MHz, 30 MHz, 50 MHz and 300 MHz. The conclusion is made on the possibility of using a multilayer screen to normalize the electromagnetic environment at any municipal and industrial facilities of the agro-industrial complex in a non-aggressive environment.

Титов Евгений Владимирович, к.т.н., доцент, каф. «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 36-71-29. E-mail: 888tev888@mail.ru.

Сошников Александр Андреевич, д.т.н., проф., каф. «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 36-71-29. E-mail: aa@soshnikov.info.

Куликова Лидия Васильевна, д.т.н., проф., каф. «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 36-71-29. E-mail: liliavaskul@gmail.com.

Titov Yevgeniy Vladimirovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Electrification of Production and Household, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: 888tev888@mail.ru.

Soshnikov Aleksandr Andreyevich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Electrification of Production and Household, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: aa@soshnikov.info.

Kulikova Lidiya Vasilyevna, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Electrification of Production and Household, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: liliavaskul@gmail.com.

Введение

В зонах одновременного воздействия электромагнитных излучений (ЭМИ) различных частотных диапазонов используются комбинированные защитные мероприятия с учётом частоты каждой из влияющих составляющих электромагнитного поля (ЭМП). Однако известные экранирующие материалы [1-9] не обеспечивают надёжной защиты от электромагнитных излучений в широком спектре нормированных частот до 300 МГц, а наиболее эффективные из них отличаются высокой стоимостью.

Для защиты от ЭМИ в АлтГТУ предложено использование простого в изготовлении и недорогого многослойного экрана (рис. 1) [10]. В связи с этим **целью** исследований явилась экспериментальная оценка степени ослабления электрического поля в диапазоне частот до 300 МГц при использовании разработанного устройства.

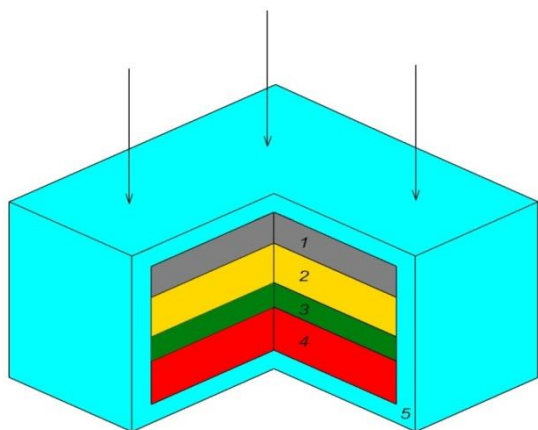


Рис. 1. Конструкция многослойного экрана

Объекты и методы

Для экранирования магнитной составляющей ЭМП использована магнитная резина 1, дополнительно защищающая разработанное устройство от механических повреждений. Металлическая пластина 2 изготовлена из материала, обладаю-

щего достаточно высокой удельной электропроводимостью и позволяющего обеспечить высокую степень ослабления высокочастотных составляющих ЭМП. Высокая эффективность экранирования квазистатических электромагнитных полей обусловлена увеличением магнитной проницаемости за счёт повышения поглощающей способности трехкомпонентной структуры материала 4 пластины. Для соединения поверхностей металлических пластин использован клеящий слой 3. Кроме того, дополнительно введена синтетическая оболочка 5, покрывающая все свободные поверхности экранирующего устройства и защищающая его от атмосферных воздействий.

Электромагнитные волны, проникая через слой диэлектрика 1, пластину 2 и клеящий слой 3, теряют часть своей энергии. За счёт выбранного соотношения компонентов пластины 4 и специфического расположения волокон полученной структуры происходит более интенсивное поглощение энергии электромагнитных волн по сравнению с пластиной 2, что приводит к повышению эффективности экранирования неионизирующих электромагнитных излучений в широком диапазоне частот.

Предложенный многослойный экран отличается малой поперечной толщиной, а также низкими массогабаритными и стоимостными характеристиками по сравнению с аналогами [1-9] и может быть рекомендован для защиты как технических средств, так и биологических объектов.

Экспериментальная часть

Для оценки защитного действия разработанной конструкции [10] проведены исследования степени ослабления электромагнитного излучения от двух близкорасположенных (на расстоянии 5 см) и одновременно работающих источников ЭМИ: сотового телефона Siemens A60 (в режиме приёма сигнала) и блока бесперебойного питания (ББП) «esm Powercom». В процессе эксперимента

использовался многослойный экран в виде плоской пластины размерами 22×22×0,22 см. Измерения проводились в диапазоне частот от 50 Гц до 8000 МГц с помощью измерителей электромагнитного излучения ВЕ-метр-АТ-004 и ПЗ-41 вдоль линии, равноудалённой от обоих источников. Измерительные приборы поочерёдно располагали в фиксированных контрольных точках на расстоянии: 1, 5, 10, 20 и 50 см от места установки экрана (L2) в условиях его перемещения от источников ЭМИ на расстояния: 1, 5 и 10 см (L1). Схема эксперимента представлена на рисунке 2.

При оценке степени ослабления электрического поля рассматривался диапазон от 50 Гц до 300 МГц, так как по результатам проведённых исследований излучений мобильного телефона [11, 12] этот диапазон представляет наибольшую опасность.

В таблице 1 приведены результаты измерения параметров электрического поля без многослойного экрана, а в таблице 2 – при наличии экрана на расстоянии 1 см от источников излучения в точках, удалённых до 50 см от экрана.

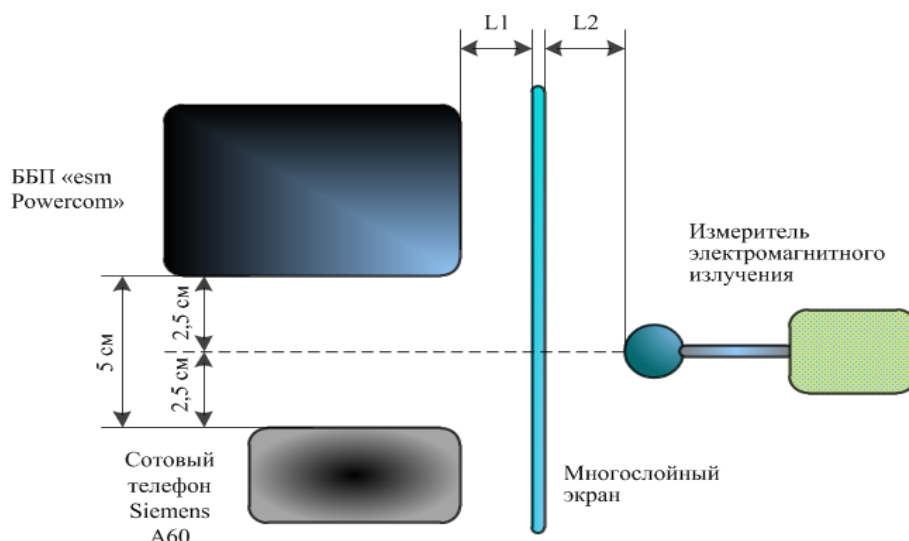


Рис. 2. Схема эксперимента

Таблица 1

Измеренные значения напряжённости электрического поля без экранирования

Расстояние (L2) от антенны измерителя ЭМИ до плоскости размещения экрана, см	Напряжённость электрического поля, В/м					
	при частоте измерения					
	50 Гц	30 кГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц	300 МГц
1	85,3	5,04	34,54	99	97,57	35,05
5	35,1	2,19	21,54	65,8	77	29,37
10	28,22	1,64	19,95	44,8	33,77	22,3
20	20,2	1,04	16,54	19,14	21,9	21,27
50	22,81	1,01	15,51	9,02	16,45	17,56

Таблица 2

Измеренные значения напряжённости электрического поля при удалении экрана на 1 см от источников излучения

Расстояние (L2) от антенны измерителя ЭМИ до экрана, см	Напряжённость электрического поля, В/м					
	при частоте измерения					
	50 Гц	30 кГц	3 МГц	30 МГц	50 МГц	300 МГц
1	2,99	0,395	7,17	5,99	5,7	7,13
5	2,62	0,409	8,45	6,19	6,74	7,03
10	2,62	0,395	5,63	6,2	4,84	6,5
20	2,24	0,395	5,81	4,9	5,07	4,99
50	5,6	0,395	5,88	7,17	6,37	7,11

Результаты и их обсуждение

По результатам исследований построены графики изменения напряжённости электрического поля (рис. 3-5) с нормированными граничными частотами 50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц и 300 МГц [13] от расстояния до экрана при удалении (L1) экрана на 1, 5 и 10 см от источников излучения.

Анализ полученных результатов показывает, что при размещении экрана на расстояниях от 1 до 10 см от источников излучения на частотах 50 Гц, 30 кГц, 30 МГц и 50 МГц степень ослабле-

ния напряжённости электрического поля в пространстве на расстоянии до 50 см от экрана практически не изменяется. На частотах 3 и 300 МГц степень ослабления напряжённости электрического поля на расстоянии до 30 см от экрана зависит от удалённости экрана до источников излучения. При этом максимальная степень ослабления напряжённости электрического поля достигается на расстоянии до 2,22 см от экрана во всех рассмотренных ситуациях его удалённости от источников электромагнитного излучения.

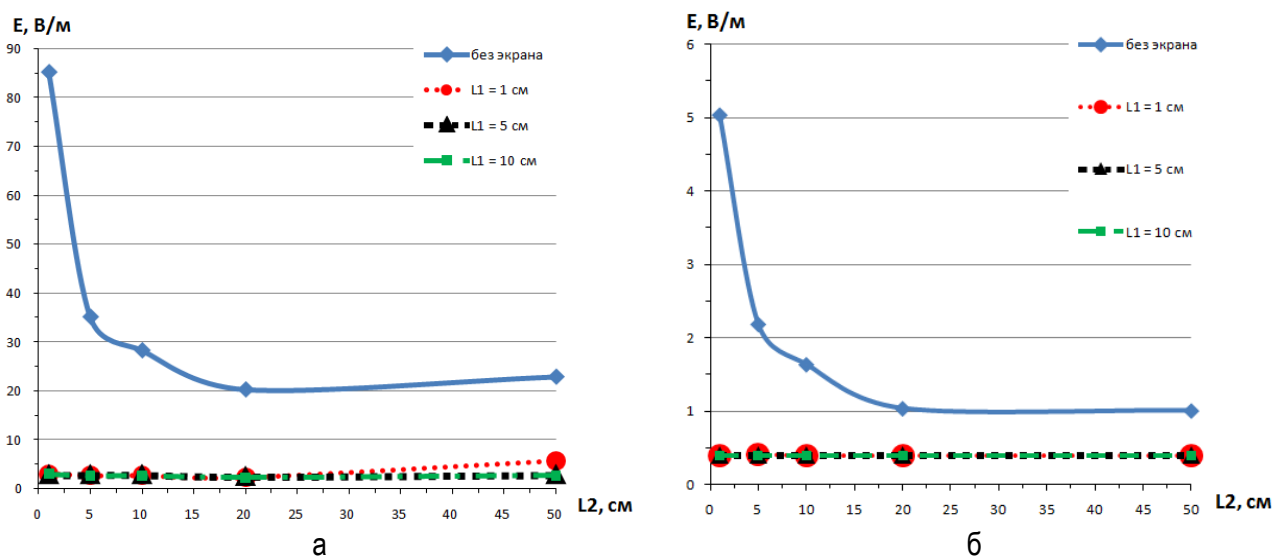


Рис. 3. Характер изменения в пространстве электрического поля частотой 50 Гц (а) и 30 кГц (б) при отсутствии и наличии экрана

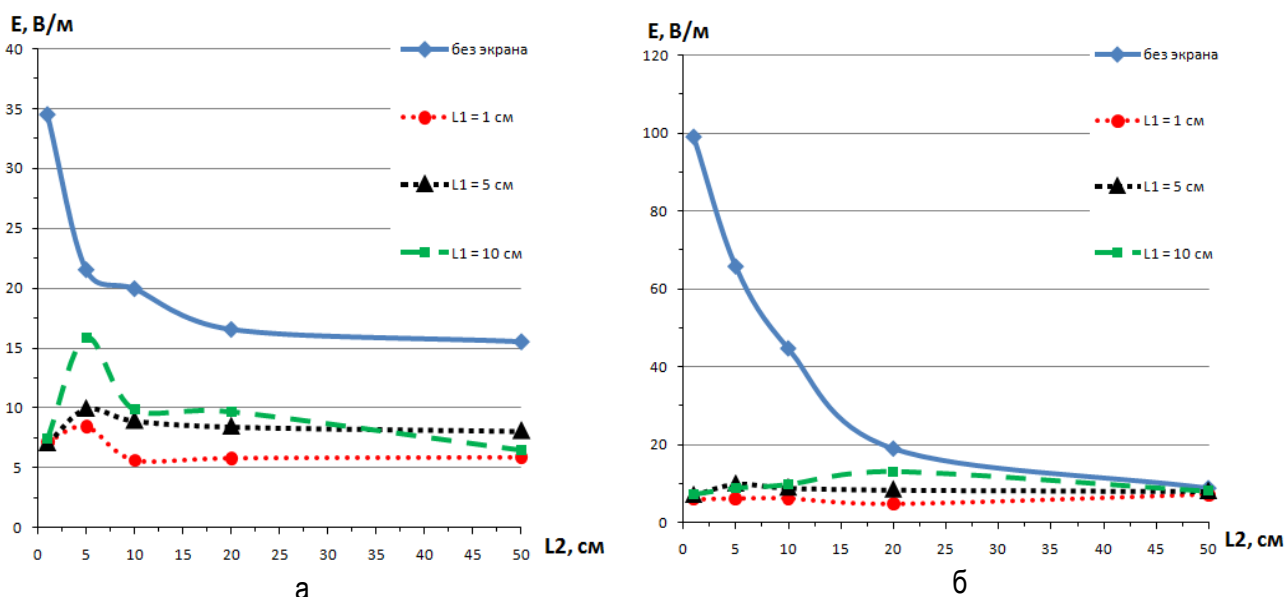


Рис. 4. Характер изменения в пространстве электрического поля частотой 3 МГц (а) и 30 МГц (б) при отсутствии и наличии экрана

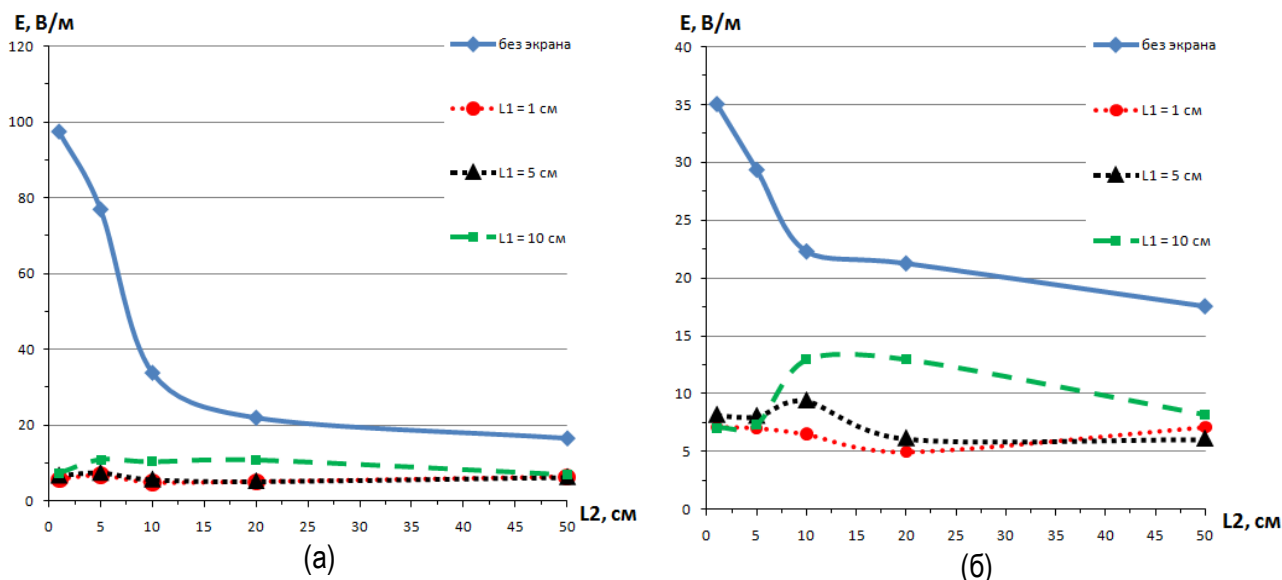


Рис. 5. Характер изменения в пространстве электрического поля частотой 50 МГц (а) и 300 МГц (б) при отсутствии и наличии экрана

Заключение

На основании проведённых исследований установлено, что разработанный экран обеспечивает ослабление до 10 раз и более электрического поля во всех нормируемых диапазонах с верхними граничными частотами 50 Гц, 30 кГц, 3 МГц, 30 МГц, 50 МГц и 300 МГц. Таким образом, многослойный экран возможно использовать для нормализации электромагнитной обстановки на любых коммунально-бытовых и промышленных объектах агропромышленного комплекса в условиях неагрессивной окружающей среды.

Библиографический список

1. Valeriu David, Ionut Nica, Alexandru Salceanu, 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe, 10.1109/EMCEUROPE.2009.5189709
2. Komarov F.F., Ksenofontov M.A., Abdullin H.A., Krivosheev R.M., Ostrovskaya L.E., Rodionova V.N., Togambaeva A.K. Structure, optical and electrical properties of polyurethane with carbon nanomaterials for protection from electromagnetic radiation, 2013 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves 10.1109/MSMW.2013.6622205.
3. Патент 2245175. Российская Федерация МПК⁷ А61N1/16. Устройство для нейтрализации вредных воздействий: № 2003133229/14; заявл. 14.11.2003; опубл. 21.07.2005 / Шевченко Р. М., Панов А. Ф. – Текст: непосредственный.

4. Патент 2168879. Российская Федерация МПК⁷ G12B17/02. Устройство для защиты от электромагнитного излучения: № 2000130528/19; заявл. 20.09.2000; опубл. 10.06.2001. / Спирин Ю. Л., Дубинин В. С.

5. Sarto, M., Tamburrano, A. (2006). Innovative Test Method for the Shielding Effectiveness Measurement of Conductive Thin Films in a Wide Frequency Range. *Electromagnetic Compatibility. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 48: 331-341. 10.1109/TEMC.2006.874664.

6. Ababei, G., Chiriac, H., David, V., et al. (2012). Omnidirectional selective shielding material based on amorphous glass coated microwires. *Rev. Sci. Instrum.* 83 (1): 014701, DOI: 10.1063/1.3681192.

7. Tunakova, V., Militky, J. (2013). Electromagnetic Field Shielding Fabrics with Increased Comfort Properties. *Advanced Materials Research*. 677: 161-168. 10.4028/www.scientific.net/AMR.677.161.

8. Jin L., Haiyan Z., Xijiang Y., et al. (2014). The Electromagnetic Shielding Effectiveness of a Low-Cost and Transparent Stainless Steel Fiber/Silicone Resin Composite. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 56 (2): 328-334.

9. Okrainskaya I.S., Sidorov A.I., Gladyshev S.P. Staff protection in super high voltage electric substations by using of the electric field measurement devices, 2012 IEEE International Conference on Electro/Information Technology.

10. Патент 2631523. Российская Федерация МПК⁷ H05K9/00, G2B17/02. Устройство для снижения опасности электромагнитных излучений:

№ 2016141802; заявл. 24.10.2016; опубл. 25.09.2017 / Титов Е. В., Сошников А. А., Нурбатырова Л. Н., Мигалев И. Е.

11. Титов, Е. В. Анализ опасности электромагнитных излучений от сотовых телефонов / Е. В. Титов, Л. Н. Нурбатырова, Ю. А. Овечкина. – Текст: непосредственный // Безопасность жизнедеятельности в третьем тысячелетии: сборник материалов VI Международной научно-практической конференции. – Челябинск, 2015. – С. 270-271.

12. Titov E.V., Soshnikov A.A. Determination of the Efficiency of the Electric Field Shielding from a Pocket Personal Computer, 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), pp. 457-459, DOI: <https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8545137>.

13. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах, 2016. – Текст: непосредственный.

References

1. Valeriu David, Ionut Nica, Alexandru Salceanu, 2009 International Symposium on Electromagnetic Compatibility – EMC Europe, 10.1109/EMCEUROPE.2009.5189709

2. Komarov F.F., Ksenofontov M.A., Abdullin H.A., Krivosheev R.M., Ostrovskaya L.E., Rodionova V.N., Togambaeva A.K. Structure, optical and electrical properties of polyurethane with carbon nanomaterials for protection from electromagnetic radiation, 2013 International Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves, Millimeter and Submillimeter Waves 10.1109/MSMW.2013.6622205.

3. Pat. 2245175. Rossiyskaya Federatsiya MPK7 A61N1/16. Ustroystvo dlya neytralizatsii vrednykh vozdeystviy / Shevchenko R.M., Panov A.F. – No. 2003133229/14; yayavl. 14.11.2003; opubl. 21.07.2005.

4. Pat. 2168879. Rossiyskaya Federatsiya MPK7 G12B17/02. Ustroystvo dlya zashchity ot elektromagnitnogo izlucheniya / Spirin Yu.L., Dubinin V.S. – No. 2000130528/19; yayavl. 20.09.2000; opubl. 10.06.2001.

5. Sarto, M., Tamburrano, A. (2006). Innovative Test Method for the Shielding Effectiveness Measurement of Conductive Thin Films in a Wide Frequency Range. *Electromagnetic Compatibility. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 48: 331-341. 10.1109/TEMC.2006.874664.

6. Ababei, G., Chiriac, H., David, V., et al. (2012). Omnidirectional selective shielding material based on amorphous glass coated microwires. *Rev. Sci. Instrum.* 83 (1): 014701, DOI: 10.1063/1.3681192.

7. Tunakova, V., Militky, J. (2013). Electromagnetic Field Shielding Fabrics with Increased Comfort Properties. *Advanced Materials Research*. 677: 161-168. 10.4028/www.scientific.net/AMR.677.161.

8. Jin L., Haiyan Z., Xijiang Y., et al. (2014). The Electromagnetic Shielding Effectiveness of a Low-Cost and Transparent Stainless Steel Fiber/Silicone Resin Composite. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*. 56 (2): 328-334.

9. Okrainskaya I.S., Sidorov A.I., Gladyshev S.P. Staff protection in super high voltage electric substations by using of the electric field measurement devices, 2012 IEEE International Conference on Electro/Information Technology.

10. Pat. 2631523. Rossiyskaya Federatsiya MPK7 H05K9/00, G2B17/02. Ustroystvo dlya snizheniya opasnosti elektromagnitnykh izlucheniy / E.V. Titov, A.A. Soshnikov, L.N. Nurbatyrova, I.E. Migaliev. – No. 2016141802; yayavl. 24.10.2016; opubl. 25.09.2017.

11. Titov, E.V. Analiz opasnosti elektromagnitnykh izlucheniy ot sotovykh telefonov / E.V. Titov, L.N. Nurbatyrova, Yu.A. Ovechkin // Bezopasnost zhiznedeyatel'nosti v tretem tysyacheletii: Sbornik materialov VI mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. – Chelyabinsk, 2015. – S. 270-271.

12. Titov E.V., Soshnikov A.A. Determination of the Efficiency of the Electric Field Shielding from a Pocket Personal Computer, 2018 XIV International Scientific-Technical Conference on Actual Problems of Electronics Instrument Engineering (APEIE), pp. 457-459, DOI: <https://doi.org/10.1109/APEIE.2018.8545137>.

13. SanPiN 2.2.4.3359-16. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram na rabochikh mestakh, 2016.

