

А. С. Соловской

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, Российская Федерация

РАЗВИТИЕ ПРИНЦИПОВ ОЦЕНКИ И КОНТРОЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Аннотация. *В современном мире на биологические объекты оказывают неблагоприятные влияния множество различных факторов, одним из которых является электромагнитное излучение (ЭМИ). Актуальность решения проблем электромагнитного загрязнения определяют включение проблемы в список приоритетных задач Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), а также с недавних пор заинтересованность ВОЗ в проведении систематических обзоров и получении экспериментальных данных по влиянию электромагнитных излучений на организм человека.*

Интенсивный рост информационно-коммуникационных технологий, характеризуемый различными электромагнитными излучениями, определил развитие подходов к усовершенствованию методов для контроля электромагнитной обстановки.

Проанализированы устройства, используемые в процессе обеспечения электромагнитной безопасности. На основании анализа известных устройств, проведена оценка эффективности малогабаритного устройства для контроля и оценки широкополосного электромагнитного излучения, позволяющий устранить ряд недостатков, известных аналогов. Описаны функциональные особенности устройства с указанием его основных преимуществ.

Проведены экспериментальные исследования широкополосного измерителя, подтверждающей оценку электромагнитного излучения в широком диапазоне частот от 50 Гц до 20 кГц, с возможностью выбора точечной частоты. Экспериментальная проверка использовалась не только для оценки возможности контролировать поле, но и оценивать эффективность экранирования защитных материалов.

Экспериментальная проверка проводилась с использованием определенных экранирующих материалов (алюминий, медь, сталь). Представлены результаты измерения напряженности электрического поля и снижения его величины для определенного частотного диапазона. Рассматривается комбинированная возможность использования экранирующих материалов для контроля энергетических параметров электромагнитного поля.

Ключевые слова: *электромагнитное поле, электромагнитная обстановка, электромагнитная безопасность, инструментальный контроль, энергетические параметры, экспериментальная проверка.*

A. S. Solovskoy

Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, the Russian Federation

MODERN APPROACHES TO THE ASSESSMENT AND CONTROL OF THE ENERGY PARAMETERS OF THE ELECTROMAGNETIC FIELD

Abstract. *In the modern world, biological objects are adversely affected by many different factors, one of which is electromagnetic radiation (EMR). The relevance of solving the problems of electromagnetic pollution is determined by the inclusion of the problem in the list of priorities of the World Health Organization (WHO), as well as the recent interest of WHO in conducting systematic reviews and obtaining experimental data on the effect of electromagnetic radiation on the human body.*

The intensive growth of information and communication technologies, characterized by various electromagnetic radiations, has determined the development of approaches to improving methods for controlling the electromagnetic environment.

The devices used in the process of ensuring electromagnetic safety are analyzed. Based on the analysis of known devices, an assessment of the effectiveness of a small-sized device for monitoring and evaluating broadband electromagnetic radiation was carried out, which allows to eliminate a number of disadvantages of known analogues. The functional features of the device are described with an indication of its main advantages.

Experimental studies of a broadband meter confirming the assessment of electromagnetic radiation in a wide frequency range from 50 Hz to 20 kHz, with the possibility of selecting a point frequency, have been carried out. The experimental test was used not only to assess the ability to control the field, but also to evaluate the effectiveness of shielding protective materials.

The experimental test was carried out using certain shielding materials (aluminum, copper, steel). The results of measuring the electric field strength and the percentage efficiency for a certain frequency range are presented. The

combined possibility of using shielding materials to control the energy parameters of the electromagnetic field is considered.

Keywords: *electromagnetic field, electromagnetic environment, electromagnetic safety, instrumental control, energy parameters, experimental verification.*

Введение

Масштабное использование различной электробытовой и промышленной техники на производстве и в коммунально-бытовых нуждах приводит к интенсивному росту электромагнитного загрязнения [1]. Приобретает актуальность развитие подходов, способов и устройств для оценки и контроля электромагнитного поля (ЭМП) [2-4]. Так, например, известны различные устройства контроля защиты от ЭМП, измерители электрической и магнитной составляющих ЭМП, датчики электромагнитного поля, различные устройства для электромагнитного экранирования и радиопоглощающие материалы [5-7]. Однако, современные устройства обладают различными недостатками, что подтверждает необходимость разработки нового широкополосного измерителя, устраняющий выявленные недостатки.

Анализ современных устройств для обеспечения электромагнитной безопасности

Для измерения величины реального затухания электромагнитного поля и оценки эффективности экранирования используется устройство [5], содержащее генератор синусоидальных высокочастотных сигналов в радиочастотном диапазоне выше 30 кГц и генератор сложного сигнала, усилитель мощности, излучаемую антенну, измерительный приемник, модулятор, устройство оптимальной обработки сложного сигнала и персональный компьютер (ПЭВМ) (рисунок 1, а). Вход модулятора соединен с выходом генератора синусоидальных сигналов, управляющий вход которого соединен со вторым управляющим выходом ПЭВМ. Приемная антенна подключена к входу измерительного приемника, управляющий вход которого соединен с первым управляющим выходом ПЭВМ. Выход измерительного приемника соединен с входом устройства оптимальной обработки сложного сигнала, выход которого соединен с ПЭВМ. Недостатками данного устройства являются сложность используемой аппаратуры, высокую стоимость и возможность исследования частот ограниченного диапазона [5].

Для измерения энергетических параметром ЭМП используются различного рода измерители. Известен измеритель напряженности электрической составляющей ЭМП [6], содержащий последовательно соединенные элементы, а именно основную антенну, регулируемый усилитель, детектор и калибровочную антенну (рисунок 1, б). Недостатки данного измерителя заключаются в узком динамическом диапазоне измеряемой величины, а также слабая защищенность от внешних дестабилизирующих электромагнитных воздействий [6].

Для определения степени защиты технических и биологических объектов от ЭМП используется устройство [7], предназначенное для применения в области измерения электрических и магнитных величин. Устройство содержит источник электропитания, генератор, датчик, усилитель, делитель напряжения, экранирующий корпус и портативный персональный компьютер, связанный с выходом усилителя (рисунок 1, в) [7]. Датчик выполнен в виде катушки индуктивности, имеющей сердечник с магнитным зазором. Источник электропитания соединен с делителем напряжения, первый выход которого подключен к входу генератора. Выход генератора подключен к входу датчика, а выход датчика подключен к первому входу усилителя, второй вход которого соединен со вторым выходом делителя напряжения. Экранирующий корпус разделен на камеры отсеком для исследуемого объекта [7]. Недостатками данному устройству следует признать сложность используемой аппаратуры и возможность исследования частот ограниченного диапазона, а именно в радиочастотном диапазоне выше 30 кГц.

Известно устройство для экранирования от переменных магнитных полей [8]. Данное устройство представляет собой замкнутую экранирующую оболочку, по всей внешней и всей внутренней поверхностям которой симметрично относительно нее расположены витки, которые выполнены из токопроводящего материала [8]. Все витки изолированы от экранирующей

щей оболочки и один от другого изолирующими прокладками, за исключением симметрично расположенных витков на внешней и внутренней поверхностях экранирующей оболочки. Каждая пара симметрично расположенных витков соединена между собой изолированными проводниками через отверстие в экранирующей оболочке, причем начало и конец каждого витка соединены соответственно с концом и началом симметричных витков, расположенных на внутренней поверхности экранирующей оболочки. Витки на внешней поверхности и витки на внутренней поверхности экранирующей оболочки размещены таким образом, что их концы прикрывают отверстия, через которые проложены изолированные соединительные проводники [8]. Недостатками данного устройства можно выделить ограниченный диапазон частот 30-3000 кГц, сложность конструкции и большие габариты.

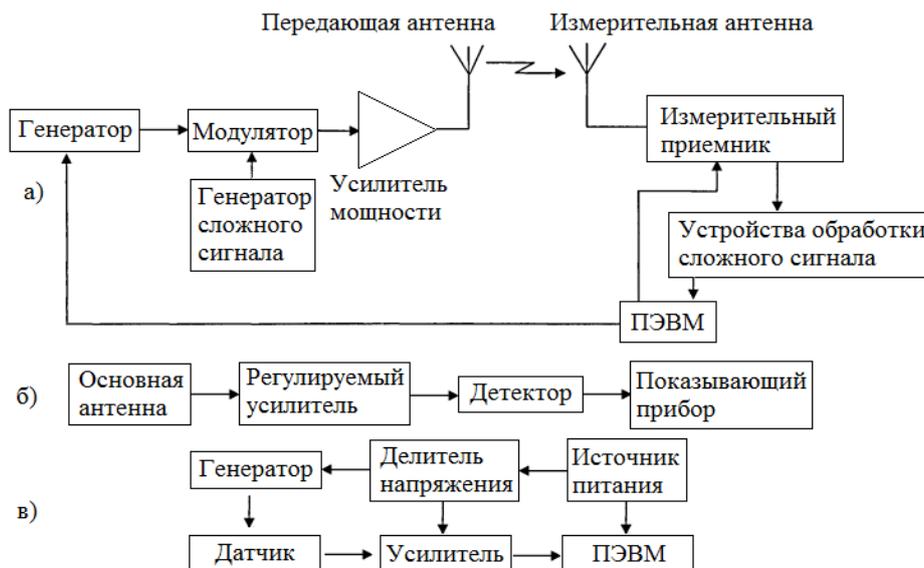


Рис. 1. Структурные схемы устройств для обеспечения электромагнитной безопасности: а – устройство для измерения величины реального затухания ЭМП; б – измеритель напряженности электрической составляющей ЭМП; в – устройство для оценки эффективности экранирования электромагнитных излучений

В соответствии с проведенным анализом технико-экономических особенностей устройств, позволяющих контролировать составляющие электромагнитного поля и защищать от их негативного влияния, среди основных недостатков можно выделить следующие: сложная конструкция, массогабаритные характеристики и ограниченный диапазон частот. Для возможного решения выявленных проблем разработан малогабаритный широкополосный измеритель [9], позволяющий измерять электрические величины, а также может быть использован для измерения степени защиты технических и биологических объектов от воздействия электромагнитных полей. Структурная схема разработанного устройства представлена на рисунке 2 [9].

Принцип работы представленного устройства заключается в следующем [9]. Исследуемый объект размещают между передающим и приемным датчиками, в результате чего на генераторе и усилителе передатчика создается разность потенциалов. После чего, генерируемый сигнал подвергают усилению с помощью усилителя передатчика, и поступает на передающий датчик. Завершающим этапом является передача сигнала на приемный датчик с последующей передачей на вход усилителя приемника для его усиления. Данные датчики включаются в схему с помощью разъема RCA и экранируемого кабеля. К основанию датчики закреплены с помощью трубочин, благодаря чему возможно изменять расстояние между ними. Между датчиками с помощью зажимов закрепляется исследуемый образец для оценки электромагнитного излучения. Усилитель приемника состоит из транзисторов обратной проводимости п-р-п по схеме с общим эмиттером. Выход на измерительный комплекс производится с нагрузочного резистора в коллекторе окончательного каскада. Блок питания представ-

ленного устройства включает трансформатор с первичной обмоткой 220 В и вторичной обмоткой 12 В, диодный мост, стабилизаторы напряжения. Обработанный сигнал поступает на персональный компьютер для дальнейшей обработки полученных данных [9].

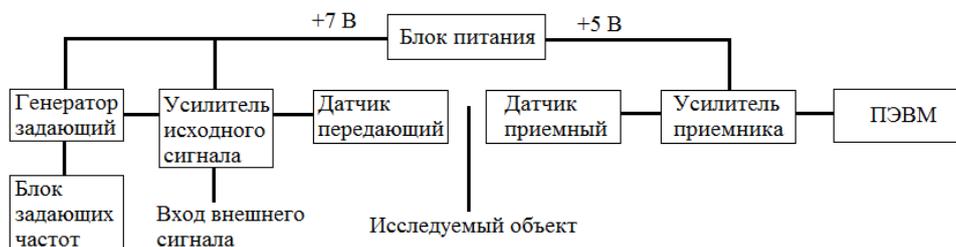


Рис. 2. Структурная схема малогабаритного широкополосного измерителя

Экспериментальная проверка широкополосного измерителя для контроля и оценки электромагнитного излучения

Для экспериментальной проверки широкополосного измерителя была использована совокупность приборов:

1. Генератор задающий ГЗ-53 использовался для генерации низкочастотного сигнала, т.е. настраивалась необходимая величина частоты в диапазоне от 50 Гц до 20 кГц;
2. Частотомер ЧЗ-63 для вывода на экран частоты и настройка частоты генератора задающего с минимальной погрешностью;
3. Милливольтметр ВЗ-41 для вывода входного напряжения датчика;
4. Для регистрации синусоидального сигнала на выходе использовался осциллограф С1-93;
5. Результаты измерений выводились на универсальный осциллограф «Fluke 196C ScopeMeter».

Экспериментальное исследование проводилось для оценки эффективности экранирующих материалов на различных частотах в диапазоне от 50 Гц до 20 кГц. Расстояние между датчиками было принято 20 мм. По результатам экспериментальных исследований на основе преобразования выходного напряжения в основные характеристики, составляющие электромагнитное поле, определялась напряженность электрического поля. На рисунке 3 представлена величина напряженности электрического поля в зависимости от экранирующего материала и частоты.

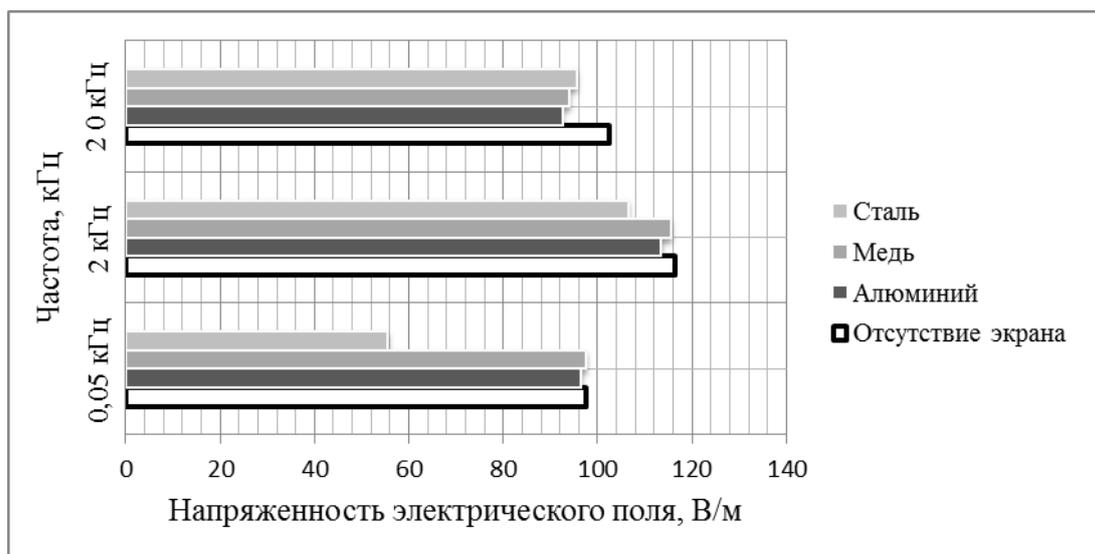


Рис. 3. Оценка эффективности экранирования электрических полей

В таблице 1 представлены результаты измерения напряженности электрического поля и снижения его величины для определенной частотной составляющей для экранирующих материалов.

Таблица 1

Результаты измерения напряженности электрического поля и снижения его величины экранирующих материалов

Частота	Результаты измерения напряженности электрического поля, В/м				Снижения величины напряженности электрического поля, %		
	1	2	3	4	2	3	4
50 Гц	97,5	96,5	97,5	55,5	1,02	0	43,08
100 Гц	110,5	110	110	90,5	0,45	0,45	18,1
300 Гц	116,5	116,5	116,5	108,5	0	0	6,9
500 Гц	117	116,5	116,5	110	0,43	0,43	6
1 кГц	117	116	116,5	109,5	0,85	0,43	6,41
2 кГц	116,5	113,5	115,5	106,5	2,57	0,86	6
5 кГц	115,5	104,5	110	101,5	9,52	4,76	12,12
7 кГц	114	99,5	106	101,5	12,72	7,01	11
10 кГц	112	96,5	101	101	13,84	9,82	9,82
15 кГц	108,5	94	96,5	98,5	13,36	11,06	9,22
20 кГц	102,5	92,5	94	95,5	9,75	8,3	6,83

Примечание:
Экранирующие материалы: 1 – отсутствие экрана, 2 – алюминий, 3 – медь, 4 – сталь

Экспериментальная проверка широкополосного измерителя проводилась с использованием экранирующих материалов. В качестве основных материалов были выбраны листовые материалы, выполненные из стали, меди и алюминия, толщина которых составляет 0,5 мм, 0,35 мм и 0,9 мм соответственно.

Заключение

Анализ таблицы 1 показывает, что в частотном диапазоне 50 Гц – 5 кГц целесообразно использовать экранирующий материал из стали, поскольку снижение напряженности электрического поля экранирования по сравнению с отсутствием экрана составляет от 43,08 % до 6 %. Однако, в частотном диапазоне от 7 кГц до 20 кГц снижается эффективность экранирования сталью и повышается эффективность алюминием. Так, снижения величины напряженности электрического поля экранирования алюминия варьируется от 13,84 % до 9,75 %.

При комбинированном использовании экранирующего материала снижается значения напряженности электрического поля. Так, при использовании двойного листа железа эффективность экранирования на частоте 50 Гц составляет 52,3 %. На частоте 10 кГц при использовании комбинации экранирующих материалов (алюминий и медь) снижается значения напряженности электрического поля на 14,8 %.

Результаты проведенных экспериментов подтверждают работоспособность широкополосного измерителя в частотном диапазоне от 50 Гц до 20 кГц. Проведенные исследования [10-12], направленные на изучения влияния электромагнитных полей на биологические объекты, подтверждает актуальность подобных разработок. Комбинированное использование экранирующих материалов эффективней использования их по отдельности. Однако, экранирующие материалы были не заземлены, что, в свою очередь, существенно снижает эффективность защиты от электромагнитного излучения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Bellieni CV, Pinto I, Bogi A, Zoppetti N, Andreuccetti D, Buonocore G. Exposure to electromagnetic fields from laptop use of "laptop" computers. Arch Environ Occup Health. 2012;67(1):31-6. doi: 10.1080/19338244.2011.564232.
2. M. -E. Ardeleanu, P. Nicolescu, D. -G. Stănescu and D. Pişleag, New Analysis Regarding Electromagnetic Field Emissions of a Wireless Device, 2018 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICATE.2018.8551409.

3. Куликова, Л. В. Основы электромагнитной совместимости / Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников. – Москва-Берлин: Директ-Медиа, 2020. – 405 с. – ISBN 978-5-4499-1175-9.
4. Соловской, А. С. Экранирования электромагнитных излучений для снижения уровня SAR / А. С. Соловской, В. Ю. Васильев // Тинчуринские чтения - 2022 «Энергетика и цифровая трансформация»: Сборник статей по материалам конференции. В 3-х томах, Казань, 27–29 апреля 2022 года / Под общей редакцией Э.Ю. Абдуллазянова. – Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2022. – С. 435-438.
5. Патент на полезную модель № 136183 U1 Российская Федерация, МПК G01R 29/00. Устройство для измерения величины реального затухания электромагнитного поля и оценки эффективности экранирования: № 2013113206/28: заявл. 25.03.2013: опубл. 27.12.2013 / С. М. Климов, Н. А. Пьянков, Ю. В. Цыплаков; заявитель Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство обороны Российской Федерации.
6. Патент № 2152623 С1 Российская Федерация, МПК G01R 29/08. Измеритель напряженности электрической составляющей переменного электромагнитного поля: № 98108194/09: заявл. 21.04.1998: опубл. 10.07.2000 / В. К. Железняк.
7. Патент № 2649092 С1 Российская Федерация, МПК G01R 29/08. Устройство для оценки эффективности экранирования электромагнитных излучений: № 2016149304: заявл. 14.12.2016: опубл. 29.03.2018 / Е. В. Титов, А. А. Сошников, П. С. Львов [и др.]; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» (АлтГТУ).
8. Патент на полезную модель № 160680 U1 Российская Федерация, МПК H05K 9/00. Экранирующее устройство: № 2015143066/28: заявл. 09.10.2015: опубл. 27.03.2016 / А. Н. Данилова, М. Д. Данилов, С. Б. Медведев [и др.].
9. Патент на полезную модель № 210146 U1 Российская Федерация, МПК G01R 29/08. Устройство для оценки эффективности экранирования низкочастотной составляющей электромагнитного поля: № 2021131454: заявл. 26.10.2021: опубл. 30.03.2022 / Е. В. Титов, А. И. Даниленко, Д. А. Даниленко; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова».
10. Валенко, А. С. Нормы электромагнитной безопасности в Российской Федерации и за рубежом / А. С. Валенко // Молодая наука Сибири. – 2020. – № 3(9). – С. 320-327.
11. Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. *Environ Health Perspect.* 2004 May;112(6):687-94. doi: 10.1289/ehp.6355.
12. Foster KR, Glaser R. Thermal mechanisms of interaction of radiofrequency energy with biological systems with relevance to exposure guidelines. *Health Phys.* 2007 Jun;92(6):609-20. doi: 10.1097/01.HP.0000262572.64418.38. PMID: 17495663.

REFERENCES

1. Bellieni CV, Pinto I, Bogi A, Zoppetti N, Andreuccetti D, Buonocore G. Exposure to electromagnetic fields from laptop use of "laptop" computers. *Arch Environ Occup Health.* 2012;67(1):31-6. doi: 10.1080/19338244.2011.564232.
2. M. -E. Ardeleanu, P. Nicoleanu, D. -G. Stănescu and D. Pişleag, New Analysis Regarding Electromagnetic Field Emissions of a Wireless Device, 2018 International Conference on Applied and Theoretical Electricity (ICATE), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICATE.2018.8551409.
3. Kulikova, L. V. Fundamentals of electromagnetic compatibility / L. V. Kulikova, O. K. Nikolsky, A. A. Soshnikov. – Moscow-Berlin : Direct-Media, 2020. - 405 p. – ISBN 978-5-4499-1175-9.
4. Solovskoy, A. S. Shielding of electromagnetic radiation to reduce the level of SAR / A. S. Solovskoy, V. Yu. Vasiliev // Tinchurin readings - 2022 «Energy and digital transformation» : A collection of articles based on the conference materials. In 3 volumes, Kazan, April 27-29, 2022 / Under the general editorship of E.Y. Abdullazyanov. – Kazan: Kazan State Power Engineering University, 2022. – pp. 435-438.

5. Klimov S. V., e.a., Ustrojstvo dlya izmereniya velichiny realnogo zatushaniya elektromagnitnogo polya i ocenki effektivnosti ekranirovaniya [A device for measuring the magnitude of the real attenuation of the electromagnetic field and evaluating the effectiveness of shielding]. Patent RF 136183, 2013.
6. Zheleznyak V. K., Izmeritel napryazhennosti elektricheskoy sostavlyayushchej peremennogo elektromagnitnogo polya [Electric component strength meter of alternating electromagnetic field]. Patent RF 2152623, 2000.
7. Titov E. V., e.a., Ustrojstvo dlya ocenki effektivnosti ekranirovaniya elektromagnitnyh izluchenij [Device for evaluating the effectiveness of shielding electromagnetic radiation]. Patent RF 2649092, 2018.
8. Danilova A. N., e.a., Ekraniruyushchee ustrojstvo [Shielding device]. Patent RF 160680, 2016.
9. Titov E. V., e.a., Ustrojstvo dlya ocenki effektivnosti ekranirovaniya nizkochastotnoj sostavlyayushchej elektromagnitnogo polya [A device for evaluating the effectiveness of shielding the low-frequency component of the electromagnetic field]. Patent RF 210146, 2022.
10. Valenko, A. S. Norms of electromagnetic safety in the Russian Federation and abroad / A. S. Valenko // Young Science of Siberia. – 2020. – № 3(9). – Pp. 320-327.
11. Lai H, Singh NP. Magnetic-field-induced DNA strand breaks in brain cells of the rat. Environ Health Perspect. 2004 May;112(6):687-94. doi: 10.1289/ehp.6355.
12. Foster KR, Glaser R. Thermal mechanisms of interaction of radiofrequency energy with biological systems with relevance to exposure guidelines. Health Phys. 2007 Jun;92(6):609-20. doi: 10.1097/01.HP.0000262572.64418.38. PMID: 17495663.

Информация об авторе

Соловской Александр Сергеевич – ассистент кафедры «Электрификация производства и быта», Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова, г. Барнаул, e-mail: solovskoyas@mail.ru

Information about the author

Solovskoy Alexander Sergeevich – assistant of the department "Electrification of production and life", Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, e-mail: solovskoyas@mail.ru