

ПРОБЛЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ — СЛЕДСТВИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

THE PROBLEM OF ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY — A CONSEQUENCE OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS

**V. Meshalkin
V. Viktorov
A. Pilyugin**

Summary. The problem of electromagnetic compatibility in the context of the current level of development of scientific and technological progress is considered. The main features of bio-electromagnetic compatibility and the main scientific areas of research in this area are presented. Within the framework of the research in the scientific and technical field, calculations of the electromagnetic field strength and exposure time are presented, according to which it is possible to determine with a high degree of reliability the electromagnetic fields created by radio engineering objects that have very dangerous effects on the human body.

Keywords: electromagnetic compatibility; electromagnetic environment; electromagnetic ecology; the influence of electromagnetic fields; protection against the influence of electromagnetic fields.

Мешалкин Валентин Андреевич

*К.т.н., доцент, с.н.с., ФГКВУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного»
Министерства обороны Российской Федерации
emerzenit@gmail.com*

Викторов Владимир Александрович

*Соискатель, ФГКВУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного»
Министерства обороны Российской Федерации
vova7dima@gmail.com*

Пилугин Антон Алексеевич

*Адъюнкт, ФГКВУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С. М. Буденного»
Министерства обороны Российской Федерации
antin86@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрена проблема электромагнитной совместимости (ЭМС) в контексте современного уровня развития научно-технического прогресса. Представлены основные особенности био электромагнитной совместимости и основные научные направления исследования данной области. В рамках проведенных исследований научно-технического направления представлены расчеты напряженности электромагнитного поля и времени воздействия, по которым можно с большой степенью достоверности определить электромагнитные поля, создаваемые радиотехническими объектами, которые оказывают очень опасные воздействия на организм человека.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость; электромагнитная обстановка; электромагнитная экология; влияние электромагнитных полей; защита от влияния электромагнитных полей.

Первые публикации о проблеме электромагнитной совместимости (ЭМС) появились в 30-е годы прошлого века. Понятие «электромагнитной совместимости» сформировалось в 50-е годы и первоначально относилось только к радиоэлектронным средствам (РЭС). Однако уже в 60-х годах XX века это понятие уже использовалось в вычислительной технике (ВТ), в 70-х годах — в средствах электроэнергетики (СЭЭ), а в 80-х годах XX века — в средствах электронной автоматики (СЭА). В настоящее время понятие «электромагнитной совместимости» применимо к широкой номенклатуре изделий, известных как «технические средства» [1, 2, 3, 11, с. 80]. При этом под техническими средствами (ТС) понимают все виды устройств и систем с электромагнитными свойствами, которые делят на четыре группы: РЭС, СВТ, СЭЭ, СЭА.

Проблема электромагнитной совместимости различных технических средств с каждым годом приобретает все большее значение. Процесс развития ТС, их широкое

внедрение вынуждает рассматривать ЭМС во всех ситуациях, где происходит взаимодействие с электромагнитным полем (ЭМП). Стало очевидным, что нельзя проектировать, конструировать, производить и применять ТС без учета их ЭМС. При этом понятие ЭМС относится к любому ТС, выражая его свойство функционировать совместно с другими ТС в любой системе — сложной или простой. Это свойство является системным. Поэтому проблему ЭМС необходимо исследовать комплексно, как свойство большой системы ТС, находящейся в неразрывном взаимодействии как с человеком так и с окружающей средой (понятие биологическая ЭМС (БИО ЭМС).

Таким образом, в настоящее время экология представляет собой достаточно разветвленную науку, в которой особое внимание уделяется совокупности или характеру связей между организмами и окружающей средой. Возникла настоятельная необходимость существенно расширить понятие ЭМС, распространив его на взаимные влияния не только между ТС, но и объектами

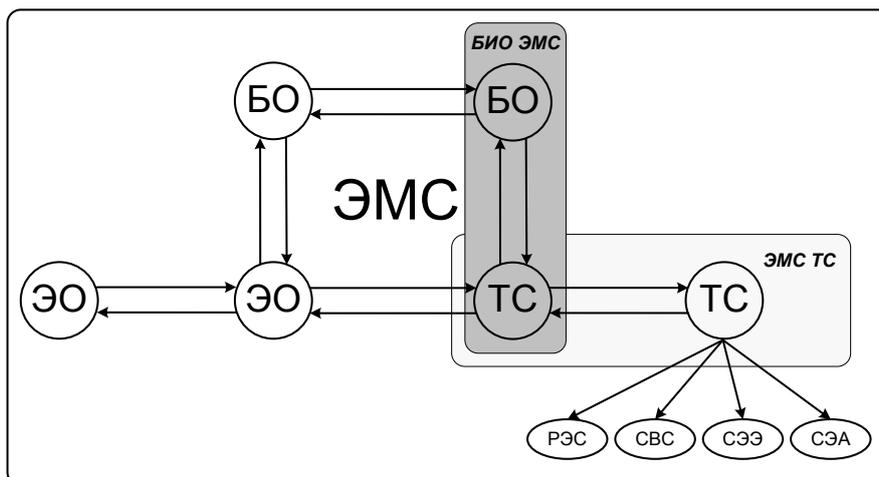


Рис. 1. Составные части ЭМС

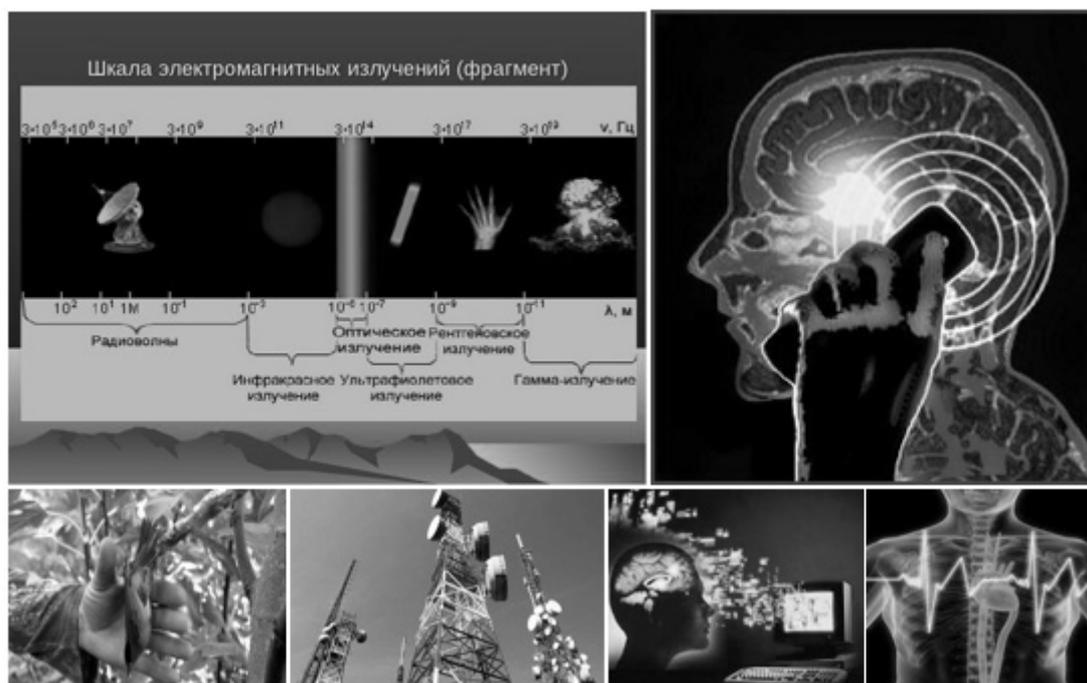


Рис. 2. Воздействие ЭМП на человека

ми экологии (ЭО) и биологическими объектами (БО) БИО ЭМС (рисунок 1). При этом объектами экологии являются как живые организмы и надорганизменные системы (популяции, биоценозы, биосфера) так и экосистема, представляющая собой функциональное единство живых организмов и среды их обитания [19], между которыми существуют сложные причинно-следственные связи.

Особенно актуальна проблема биологической ЭМС. Процесс развития технических средств, их широкое

внедрение, а также наращивание мощностей, освоение новых диапазонов частот и увеличение числа радиочастотных каналов переводят эту проблему из заурядной санитарно-гигиенической в разряд экологических, причем имеющих глобальный характер.

Впервые за весь период цивилизации происходит постоянное массовое электромагнитное облучение критической системы организма человека, его головного мозга, как системы наиболее чувствительной к электро-

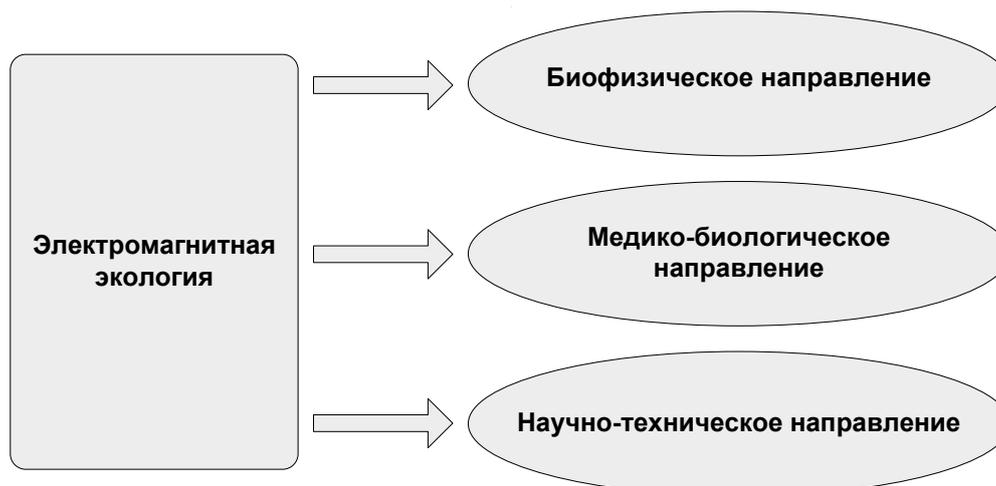


Рис. 3. Направления электромагнитной экологии

магнитным полям, так и ответственной за его разумную деятельность. В настоящее время современное общество все больше становится зависимым от функционирования систем, обеспечивающих обработку, передачу и хранение информации, средств беспроводной передачи данных, мобильной связи и других устройств, которые одновременно являются источниками электромагнитных полей. При этом мировое научное сообщество должным образом не акцентирует внимание на колоссальном риске и вреде для населения при использовании данных устройств (рисунок 2), который может сказаться на здоровье лишь через несколько лет [12, 19].

В электромагнитной экологии выделяют три основных направления: биофизическое, медико-биологическое, научно-техническое (рисунок 3).

Биофизическое направление включает вопросы исследования взаимодействия биологических тканей с ЭМП. По данному направлению накоплен богатейший научный материал, об этом свидетельствуют многочисленные отечественные и зарубежные публикации, посвященные биологическим эффектам ЭМП и исследованиям причинно-следственных связей между биологическими объектами и ЭМП [17, 20]. В последнее время появилось множество научных подтверждений явлению повышенной биологической активности магнитных полей промышленной частоты малых уровней [20]. Приведены результаты научных исследований, позволяющие считать, что такие поля являются причиной некоторых видов онкологических заболеваний. Очень тревожна тенденция резкого увеличения количества техники на рабочих местах должностных лиц, предполагается, что на весьма ограниченной площади рабочего места концентрируется большое количество всевозможных излучателей. Косвенно об увеличении ЭМП на рабочем

месте можно судить по тому факту, что за последние пятнадцать — двадцать лет токовые номиналы плавких предохранителей и автоматов на входе силовой сети в производственных помещениях увеличились с 5.6 до 20.25 ампер и, как следствие, увеличение уровней ЭМП на рабочих местах в 5–6 раз [16, с. 37].

Медико-биологическое направление занимается изучением и нормированием воздействующего фактора на окружающую среду и человека. В настоящее время с целью защиты населения от воздействия электромагнитных полей, создаваемых различными объектами, были разработаны и утверждены санитарные правила и нормы [4, 5, 6, 7, 8] при работе с источниками электромагнитных полей (далее СанПин) во всех диапазонах. Контролируемыми параметрами ЭМП при оценке их воздействия на окружающую среду являются напряженность электрического поля (E) и напряженность магнитного поля (H). Их предельно допустимые нормы установлены в СанПин. Согласно данным документов предельно допустимые значения соотношения напряженности поля и времени воздействия на человека связаны между собой через значения энергетической экспозиции. Значения энергетической экспозиции нормированы и рассчитываются в зависимости от диапазона частот: по энергетической составляющей, по магнитной составляющей, по плотности потока энергии. На основании данных соотношений СанПина можно определить нормы теоретически безвредного воздействия на организм человека, выведенные на основании математических вычислений для среднестатистического организма, а также решить многочисленные экологические и санитарно-гигиенические задачи, заключающиеся в проблеме безопасного размещения излучающих объектов (рисунок 4). Рисунок 4 наглядно позволяет оценить продолжительность воздействия источников излучения и напряженность электрического поля [4].

**Предельно допустимые уровни напряжённости электрической составляющей
в диапазоне частот 30 кГц – 300 МГц в
зависимости от продолжительности воздействия**

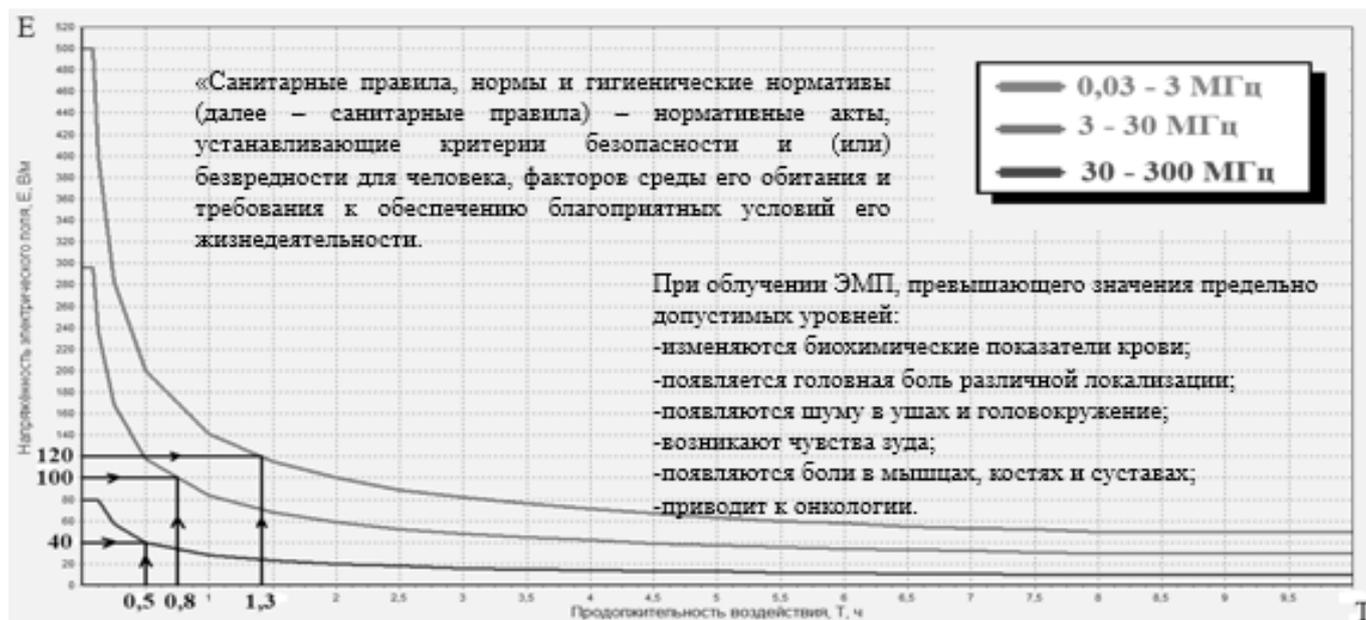


Рис. 4. Предельно допустимые уровни напряжённости электрической составляющей в диапазоне частот 30 кГц — 300 МГц

Превышение этих уровней приводит к очень опасным последствиям для организма человека.

В стандартах иностранных государств для характеристики воздействия ЭМП на человека введена величина, которая характеризует удельную поглощенную мощность — SAR (Specific Absorption Rate, Вт/кг) [10, с. 80]. Эта величина представляет собой поглощенную энергию электромагнитного поля единицей массы биологического объекта и имеет размерность ватт на килограмм (Вт/кг) или милливатт на грамм (мВт/г). Этот параметр можно усреднять по общей массе биологического объекта, либо по его отдельным частям (органам) [14, с. 138]. Следующие стандарты иностранных государств определяют допустимые уровни по параметру SAR [21].

Таким образом, результатом исследований в данном направлении является свод нормативных документов, которые регламентируют предельно допустимые уровни воздействия на человека электромагнитных полей. По приведенным выше стандартам определяется как предельно допустимое время пребывания людей в данной зоне воздействия электромагнитных полей, так и мероприятия по защите от него должностных лиц на рабочих местах.

Научно-техническое направление включает разработку методов и средств анализа в окружающей среде ЭМП и защиты от него в случае необходимости. Экспериментальные исследования на человеке, как правило, не проводятся [18]. Это связано с тем, что в экспериментах создаются уровни поля, которые могут навредить здоровью человека. Бурное развитие вычислительной математики [15, с. 38] позволяет создавать компьютерные фантомы тела человека и его частей и проводить математическое моделирование влияния ЭМП на человека [13].

Сложность структуры электромагнитного поля на различных объектах и за их пределами, а также многочисленность влияющих факторов определяют трудности всестороннего решения проблемы электромагнитного прогнозирования. Это обосновывает целесообразность применения в качестве основного метода исследования — метод математического моделирования. Однако математическая модель, какой бы сложной она ни была, не может отражать всех аспектов физического явления, которое она реализует. С одной стороны, модель должна воплощать в себе наиболее существенные для решаемой научной задачи стороны явления. С другой стороны, приближенные математические модели позволяют по-



Рис. 5. Основные этапы вычислительного эксперимента

лучать лишь оценочные результаты, неприменимые для целей комплексного анализа. Конечной задачей является поиск компромисса между требованиями физической и математической строгости и требованиями удобства численного анализа моделей.

Как правило, решение задач на научно-техническом направлении связано с дифракционными явлениями в ближней зоне излучения различных источников. При этом задача дифракции в электромагнитной экологии является одной из самых сложных и редко имеет аналитическое решение. В связи с этим в настоящее время широко применяются численные методы анализа электромагнитной обстановки на телах сложной формы с различными макроскопическими параметрами.

Основными численными методами в электромагнитной экологии, имеющими наиболее широкое распространение, являются: метод моментов (ММ), метод конечных элементов (МКЭ) и метод конечных разностей во временной области (МКРВО). Данные методы подробно рассмотрены в отечественной и зарубежной литературе [9, с. 77].

В настоящее время широкое применение для решения задач дифракции находит вычислительный эксперимент (ВЭ), основой которого является математическое моделирование, теоретической базой — информатика, вычислительная и прикладная математика, а технической базой — электронно-вычислительная машина (ЭВМ). Вычислительный эксперимент является современной технологией и методологией проведения теоретических исследований. При этом ядром вычислительного метода познания является цепочка «модель — алгоритм — программа», а главное звено в ней — математическая модель.

Вычислительный эксперимент применяется в случаях, когда:

- ◆ проведение специалистами теоретических исследований классическими методами математики затруднено или невозможно, а их результаты не доводятся до численного решения;
- ◆ сложные процессы не всегда поддаются теоретическому исследованию, и во многих случаях реальный объект исследуется односторонне;
- ◆ имеются определенные трудности в анализе полученных теоретических результатов.

Вычислительный эксперимент играет ту же роль, что и обыкновенный эксперимент при исследовании новых гипотез, так как современная гипотеза почти всегда имеет математическое описание, над которым можно выполнять эксперименты. Основными этапами вычислительного эксперимента являются [10, с. 81, 14, с. 139]: анализ объекта исследования, математическая модель объекта, математическая дискретная модель объекта (численный метод), проведение вычислений и анализ результатов, программирование для ЭВМ (рисунок 5).

Наиболее важными и творческими этапами вычислительного эксперимента с научной точки зрения являются второй и третий этапы, именно они определяют предметную область и закладывают точность расчетов проводимых исследований.

Точность определяется погрешностью, которая имеет две составляющие [10, с. 82]:

- ◆ неустраняемую (связана с упрощением реального объекта исследования при его математическом описании);
- ◆ регулируемую (относится к третьему этапу и связана с точностью численного метода и разрядностью чисел ЭВМ).

Несмотря на наличие рассмотренных погрешностей, точность вычислительного эксперимента, зачастую, оказывается выше физического.

Таким образом, для разработки методов и средств анализа в окружающей среде электромагнитных полей и защиты от них в случае необходимости целесообразно использовать методологию вычислительного эксперимента. Вычислительное направление исследований в настоящее время становится основным средством проведения научных исследований в электромагнитной экологии. Оно обеспечивает сочетание сильных сторон теории и практики.

Выводы

1. Проблема ЭМС носит системный характер и при ее решении необходимо обеспечить комплексное исследование с учетом всех важнейших взаимосвязей рассматриваемого объекта. К настоящему времени не выработана единая методика комплексного анализа электромагнитных полей. Необходимость создания такой методики диктуется устойчивым интересом, прежде всего, к проблемам защиты человека от излучений различной природы.

2. Техногенные электромагнитные поля, как один из факторов загрязнения окружающей среды, стали причиной кризисной ситуации, сложившейся как в обеспечении безопасности населения, так и в отрасли телекоммуникаций, которая имеет очевидную стратегическую, технологическую и социальную значимость. Представляется необходимым проведение контроля электромагнитной обстановки с учетом значений электромагнитных полей на рабочих местах должностных лиц перед размещением на них современной цифровой аппаратуры, микропроцессорной техники, видеодисплейных терминалов, устройств беспроводной передачи данных, внедрения мобильной связи, которая фактически реализует единую глобальную научно-исследовательскую программу в отсутствие должного акцента внимания в прогнозе о возможных последствиях.
3. Для решения задач электромагнитной экологии целесообразно использовать методологию вычислительного эксперимента. Вычислительное направление исследований в настоящее время является практически единственным средством проведения научных исследований в этой области. Вычислительный эксперимент обеспечивает органическое сочетание сильных сторон теории и практики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проект Федерального закона № 97803000–2 «Об обеспечении электромагнитной совместимости» (ред., принятая ГД ФС РФ в I чтении 21.01.1998) // Доступ из СПС «КонсультантПлюс».
2. Постановление Правительства РФ от 01.04.2005 № 175 (ред. от 25.09.2018) «Об утверждении Правил осуществления радиоконтроля в Российской Федерации» // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2005. — № 14. — Ст. 1255.
3. Постановление Правительства РФ от 30.06.2004 № 318 (ред. от 14.12.2006) «Об утверждении Положения о Федеральной службе по надзору в сфере связи» // Собрание законодательства Российской Федерации. — 2007. — № 24. — Ст. 2923.
4. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 9 июня 2003 г. № 135 «О введении в действие санитарных правил и нормативов — СанПиН 2.2.4.1383–03» // Российская газета. — 2003. — № 119/1 (специальный выпуск). — 20 июня.
5. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 3 июня 2003 г. № 118 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов — СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03» // Российская газета. — 2003. — № 120. — 21 июня.
6. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 30 мая 2003 г. № 107 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов — СанПиН 2.2.2.1332–03» // Российская газета. — 2003. — № 119/1 (специальный выпуск). — 20 июня.
7. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 13 марта 2003 г. № 18 «О введении в действие санитарных правил и нормативов — СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190–03» // Российская газета. — 2003. — № 85. — 7 мая.
8. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 19 февраля 2003 г. № 10 «О введении в действие санитарно-эпидемиологических правил и нормативов — СанПиН 2.2.4.1191–03» // Российская газета. — 2003. — № 17. — 28 апреля.
9. Григорьев А. Д. Методы вычислительной электродинамики. — М.: Физматлит, 2013. — 432 с.
10. Мешалкин В. А. и др. Решение задач электродинамики с помощью вычислительного эксперимента // Научно-практический журнал № 11 Т. 2 «Высшая школа» Изд. ООО «Инфинити», 2016. С. 80–82. ISSN2409–1677.
11. Мешалкин В. А., Сальников Д. В. Объектовая ЭМС технических средств. СПб.: 6-й Международный симпозиум по ЭМС и электромагнитной экологии, 2005 г.
12. Мешалкин В. А., Селин Д. Н. Влияние ближних полей мобильных радиотелефонов сотовой связи на человека СПб.: Материалы Городской НПК «Военная наука городу», 1997 г.
13. Мешалкин В. А. Методика расчета пространственного распределения составляющих ЭМП в биологическом объекте при непосредственном контакте «излучатель — объект». СПб.: Материалы IV Российской НТК «ЭМС технических средств и биологических объектов», 1996 г.

14. Охлопков Н. М. Вычислительный метод познания — диалектический синтез экспериментального и теоретического методов познания // Вестник Якутского государственного университета, том 7, № 1. — Якутск: Изд-во ЯГУ, 2010. — С. 138–142.
15. Самарский А.А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. — 2-е, испр. изд. — М.: Физматлит, 2001. — 320 с.
16. Сподобаев Ю.М., Кубанов В. П. Основы электромагнитной экологии. — М.: Радио и связь, 2000. — 239 с.
17. Biological effects of electric and magnetic fields/edited by David O. Carpenter, Sinerik Ayrapetyan. — Academic Press, 1994. V.1–369 p. V.2–357 p.
18. Chou, C.-K., H. Bassen, J. Osepchuk, Q. Balzano, R. Petersen, R. Meltz, R. Cleveland, J.-C. Lin, & L. Heynick. 1996. Radio frequency electromagnetic exposure: Tutorial review on experimental dosimetry. Bioelectromagnetics 17:195–208.
19. Hanbook of biological effect of electromagnetic fields/edited by Charles Polk, Eliot Postow. — 2nd ed. Boca Ration, New York, London, Tokyo: CRC Press, 1996. 618p.
20. Radiofrequency Radiation Standards. Biological Effects, Dosimetry, Epidemiology, and Public Health Policy/ edited by B. J. Klauenberg, Martino Grandolfo, David N. Erwin. NATO ASI Series, Plenum Press. New York and London, 1995. 455 p.
21. USAS C95.1–1966, Safety Level of Electromagnetic Radiation With Respect to Personnel, United States of America Standards Institute, New York, NY (1966).

© Мешалкин Валентин Андреевич (emerzenit@gmail.com),

Викторов Владимир Александрович (vova7dima@gmail.com), Пилюгин Антон Алексеевич (antin86@yandex.ru).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного