

# Технологии ЭМС

## В номере:

- Способ организации связи на основе приоритетов для децентрализованной сети
- Экспресс-метод оценки степени агрегирования наночастиц проводящей примеси в композиционном материале
- Автоматизированное проектирование вторичного источника питания с учётом критерия электромагнитной совместимости
- Экспериментальные исследования функционирования устройств RFID в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных полей
- Моделирование импульсных процессов и широкополосного излучения в периодических линиях передачи
- К вопросу аттестации затухания измерительной площадки
- Модельные испытания электризации бортовых кабелей космических аппаратов
- Оптимизация процесса управления рисками информационной и функциональной безопасности многофункциональных информационных систем при электромагнитных воздействиях
- Разработка формальной структуры системы управления рисками информационной и функциональной безопасности многофункциональных информационных систем при электромагнитных воздействиях
- Современные международные и национальные принципы технического регулирования обязательных требований обеспечения ЭМС технических средств



- Инновационные, Информационные Технологии
- Прага 21-25 апреля 2014

# Технологии электромагнитной совместимости

## *Technologies of electromagnetic compatibility*

### 2013. № 4(47).

**emc-journal.ru**  
ISSN 1729-2670

#### УЧРЕДИТЕЛЬ ЖУРНАЛА:

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

Зарегистрирован в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Регистрационное свидетельство ПИ № 77-9669 от 24 августа 2001 года

#### Оформить подписку можно

по объединенному каталогу «Прессы России»:  
10362 — полугодовой индекс;  
в издательстве (предпочтительно) (8-985-134-4367).

**Главный редактор журнала,**  
председатель редакционного совета  
КЕЧИЕВ ЛЕОНID НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.

**Зам. главного редактора журнала**  
ФАЙЗРАХМАНОВ НИКОЛАЙ ИСХАКОВИЧ,  
АЛЕШИН АНДРЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ, к.т.н.

#### **Редакционный совет:**

АКБАШЕВ БЕСЛАН БОРИСОВИЧ, д.т.н.  
БАЛЮК НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.  
ВОРШЕВСКИЙ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ, д.т.н., проф.  
КИРИЛЛОВ ВЛАДИМИР ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., проф.  
КОСТРОМИНОВ АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ,  
д.т.н., проф.  
КРИВОВ АНАТОЛИЙ СЕРГЕЕВИЧ, д.т.н., проф.  
МЫРОВА ЛЮДМИЛА ОШЕРОВНА, д.т.н., проф.  
НЕФЕДОВ ВИКТОР ИВАНОВИЧ, д.т.н., проф.  
НИКИТИНА ВАЛЕНТИНА НИКОЛАЕВНА, д.м.н., проф.  
НИКИФОРОВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ, к.т.н.  
ПОЖИДАЕВ ЕВГЕНИЙ ДМИТРИЕВИЧ, д.т.н., проф.  
САРЫЛОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ  
САХАРОВ КОНСТАНТИН ЮРЬЕВИЧ, д.т.н., с.н.с.  
СУХОРУКОВ СЕРГЕЙ АРСЕНЬЕВИЧ, к.т.н., доцент  
ТУХАС ВЯЧЕСЛАВ АНАТОЛЬЕВИЧ, д.т.н., проф.  
ФОМИНИЧ ЭДУАРД НИКОЛАЕВИЧ, д.т.н., проф.  
ЧЕРМОШЕНЦЕВ СЕРГЕЙ ФЕДОРОВИЧ, д.т.н., проф.

#### **ИЗДАТЕЛЬ ЖУРНАЛА:**

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ».

#### **РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА:**

НОЧУ «Новая Инженерная Школа»

Издаётся при содействии кафедры РЭТ  
МИЭМ-НИУ ВШЭ.

**Главный редактор** СТАСЬ Константин Николаевич  
**Исполнительный директор**

Лебедев Петр Сергеевич

Адрес: 105005, Москва, Наб. академика Туполева, 15,  
стр. 29, оф. 117.

ООО «Издательский Дом «ТЕХНОЛОГИИ»

Редакция: тел./факс 8 (495) 916-89-64,  
e-mail: [kln1940@gmail.com](mailto:kln1940@gmail.com).

Статьи рецензируются. Статьи опубликованы в авторской редакции. Мнение членов редакционного совета может не совпадать с точкой зрения авторов публикаций. Перепечатка материалов допускается только с письменного разрешения редакции. Рукописи не возвращаются.

Журнал включен в перечень ведущих журналов и изданий Высшей аттестационной комиссии (ВАК).

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ. Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory».

#### **Содержание**

<b>Азизов Р.Ф., Аминев Д.А., Увайсов С.У., Иванов И.А.</b> Способ организации связи на основе приоритетов для децентрализованной сети.....	5
<b>Четвериков В.М., Смирнов Д.Д., Гузенкова А.С., Нерето М.О.</b> Экспресс-метод оценки степени агрегирования наночастиц проводящей примеси в композиционном материале.....	9
<b>Кирша А. В., Чермошенцев С. Ф.</b> Автоматизированное проектирование вторичного источника питания с учётом критерия электромагнитной совместимости.....	21
<b>Михеев В.А., Рахманов И.М., Уткин А.В., Журавлев Н.Н., Сахаров К.Ю., Сухов А.В.</b> Экспериментальные исследования функционирования устройств RFID в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных полей....	30
<b>Мозговой Ю.Д., Хриткин С.А.</b> Моделирование импульсных процессов и широкополосного излучения в периодических линиях передачи.....	36
<b>Шабанов Р.И., Романчев В.С., Захаров А.А., Захаров А.В., Яковлев К.М.</b> К вопросу аттестации затухания измерительной площадки....	44
<b>Иванов В.А., Кириллов В.Ю., Морозов Е.П., Томилин М.М.</b> Модельные испытания электризации бортовых кабелей космических аппаратов.....	55
<b>Михеев В.А., Семин В.Г.</b> Оптимизация процесса управления рисками информационной и функциональной безопасности многофункциональных информационных систем при электромагнитных воздействиях.....	60
<b>Михеев В.А., Семин В. Г.</b> Разработка формальной структуры системы управления рисками информационной и функциональной безопасности многофункциональных информационных систем при электромагнитных воздействиях.....	65
<b>Котельников Д.С.</b> Современные международные и национальные принципы технического регулирования обязательных требований обеспечения ЭМС технических средств.....	69

УДК 681.3

**Р.Ф. Азизов, Д.А. Аминев, С.У. Увайсов, И.А. Иванов**

## Способ организации связи на основе приоритетов для децентрализованной сети

*Рассмотрены принципы организации связи в децентрализованных сетях и выявлены их проблемы относительно ЭМС. Проведен аналитический обзор существующих способов доступа к радиоэфиру в узлах сети. Предложен способ обмена данными с учетом приоритетов. Представлены результаты экспериментов работы сети.*

**Ключевые слова:** децентрализованная сеть, алгоритмы доступа к среде, передача данных

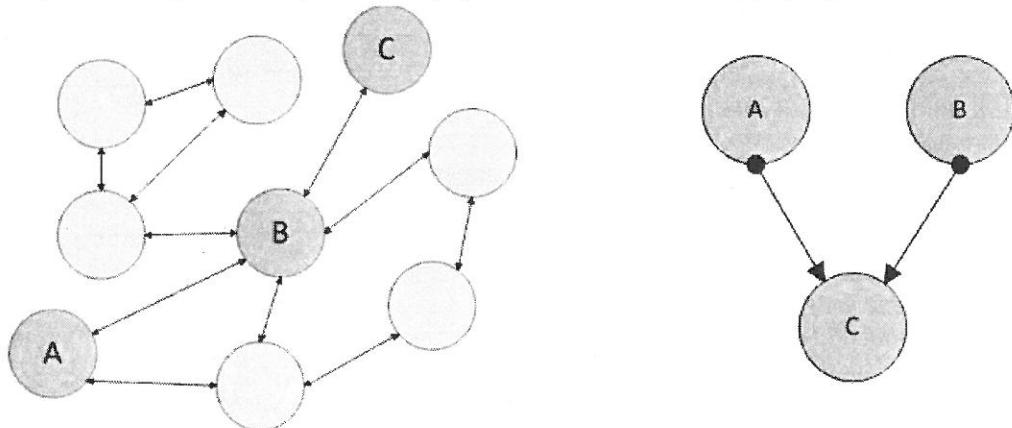
Децентрализованные сети целесообразно использовать в случаях, когда топология сети заранее неизвестна или может изменяться в процессе функционирования [1]. При построении таких сетей следует избегать иерархической топологии, так как нельзя гарантировать, что ведущие устройства сети, например координатор сети или маршрутизатор, окажутся в зоне радиовидимости других участников сети. Для обеспечения надёжного функционирования сети, каждый узел должен самостоятельно играть роль маршрутизатора и создавать соединения в режиме реального времени [2]. Но, так как в такой сети нет ведущего устройства, координирующего информационный обмен между узлами, то остро встаёт вопрос об эффективной организации доступа в радиоэфир независимых друг от друга участников информационного обмена [3]. Иными словами существует высокая вероятность возникновения электромагнитных помех, создаваемых самими узлами сети [4].

Отличительной особенностью мобильной самоорганизующейся сети является то, что передача радиосигнала на максимально возможной мощности передатчика может не являться оптимальным решением. В условиях высоконагруженной сети при интенсивном обмене мощные передатчики являются источником взаимных помех.

В самоорганизующейся сети уменьшение мощности передаваемого сигнала компенсируется возможностью ретрансляции трафика узлами сети. Тем самым, уменьшение мощности передачи является способом пространственного разделения сигнала.

Но, в свою очередь, применение механизмов ретрансляции значительно увеличивает нагрузку на сеть, что создает потребность в использовании других инструментов разделения сетевого трафика.

На рис. 1 изображены варианты информационного обмена в децентрализованной сети.



**Рис. 1. Варианты информационного обмена в децентрализованной сети:**  
а) общий случай, б) частный случай

В общем случае реализуется взаимный информационный обмен данными между многими узлами децентрализованной сети, при этом некоторые из них работают как ретрансляторы. В частном случае реализуется одновременную передачу сообщений узлу С от узлов А и В.

Видно, что узлы находятся в зоне взаимного влияния, не обеспечивающего требования ЭМС к эффективному информационному обмену [4, 5], поэтому возникает необходимость разделения эфира.

Разделение эфира может осуществляться по частоте (FDMA) или по времени (TDMA), предоставляя узлам сети доступ к среде по очереди и резервируя каждому из них фиксированные интервалы времени. Эти методы обеспечивают требования ЭМС к информационному обмену, но являются сложно реализуемыми для распределённой децентрализованной сети ввиду ограничений приемо-передатчиков её узлов [6] и их взаимной синхронизации.

Широкое распространение в самоорганизующихся сетях получил метод CSMA/CA (множественный доступ с контролем несущей и избеганием коллизий) [7] – вероятностный протокол канального уровня, в котором узел, желающий передать пакет данных, слушает шумы в передающей среде в течение определённого периода времени. Если передающая среда оценивается как свободная, узел может передать пакет данных. В противном случае, узел определённое время находится в режиме ожидания, прежде чем предпринять процедуру отправки пакета.

Реализация алгоритмов случайного доступа на основе CSMA/CA представляется наиболее удобным решением задач децентрализованной сети, чем реализация алгоритмов детерминированного доступа FDMA и TDMA. Поскольку в последнем случае требуется или специальный протокол, контролирующий работу всех устройств сети, или специальное выделенное устройство – координатор, который в определенной последовательности предоставляет возможность передавать данные всем остальным станциям.

Временная диаграмма процессов обмена данными между узлами сети по алгоритму CSMA/CA представлена на рис. 2.

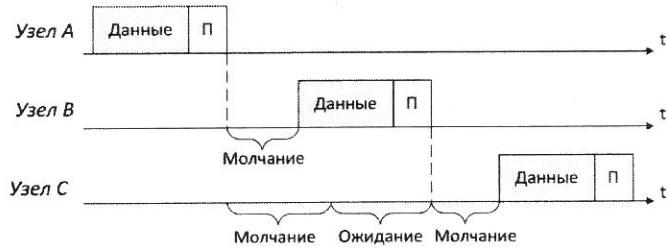


Рис. 2. Процесс обмена данными между узлами сети А, В и С

Здесь узел А передает данные первым, узлы В и С оправляют посылку в ответ. Буквой «П» отмечен пакет «Подтверждение» данных от получателя. После приёма

пакета узлы В и С переходят в состояние молчания. Эти периоды представляют собой случайные промежутки времени, экспоненциально увеличивающиеся в случае неудачи [7]. Тот модуль, у которого период окажется меньше (на рисунке узел В) начинает передачу первым. Узел С после своего периода молчания обнаруживает, что радиоэфир занят и переходит в режим ожидания.

Теоретически метод CSMA/CA обеспечивает требования ЭМС к информационному обмену. Однако, так как этот метод построен на вероятностном алгоритме, из-за коллизий при передаче цифровых пакетов в среде могут возникать непредсказуемые задержки, особенно при большой загруженности сети, когда много станций начинают одновременно передавать данные.

В децентрализованных сетях в определенных случаях требуется передача потоков данных с разным приоритетом. Например, при одновременной передаче критичного к временным задержкам голоса и других информационных пакетов, для которых время доставки не является важным. В сети с большим количеством модулей время ожидания может оказаться достаточно долгим и из-за суммарной задержки. Для решения этой проблемы необходима модификация метода CSMA/CA, в котором в алгоритм доступа к среде вводится понятия приоритета.

Предлагается способ, учитывающий важность передаваемых данных на основе приоритетной доставки информационных пакетов, задержки которых нежелательны.

В алгоритме CSMA/CA период молчания  $T$  вычисляется по формуле:

$$T = (2^c - 1) \cdot t_c, \quad (1)$$

где  $c$  – количество неудачных попыток выйти в эфир,  $t_c$  – случайный квант ожидания.

Суть предлагаемого метода заключается в том, что в формулу расчёта периода молчания (1) вводится составляющая, пропорциональная важности передаваемых данных. Период молчания в этом случае определяется выражением:

$$T = (2^c - 1) \cdot (t_c + t_n), \quad (2)$$

где  $t_n$  – коэффициент, зависящий от приоритета пакета. Чем приоритет ниже, тем  $t_n$  должно быть больше.

Таким образом, периоды молчания узлов с потоками, у которых более высокий приоритет, будут короче. В результате модули, передающие важные данные будут выходить в эфир раньше.

Так как в один момент времени в эфире может оказаться несколько передач с одинаковым приоритетом, то  $t_n$  также должна являться случайной величиной.

Коэффициенты должны быть подобраны таким образом, чтобы выполнялось условие (3):

$$T_0 > T_1 > \dots > T_N, \quad (3)$$

где  $T_0$  – время потока с большим приоритетом, а  $T_1$  и  $T_N$  – времена потоков с меньшими приоритетами.

Для проверки работоспособности способа был разработан экспериментальный стенд (рис. 3), позволяющий реализовать информационный обмен для частного случая (рис. 1,б).

Стенд содержит: компьютер с установленным на него общим (ОПО) и специальным (СПО) программным обеспечением; приёмопередатчики CC430F5137 компании Texas Instrument узлов А, В и С; преобразователи интерфейсов CP2103 для управления каждым узлом. В качестве ОПО используется ОС Linux [6]. СПО включает программы управления узлами и средства визуализации информационного обмена.

На стенде было проведено 2 эксперимента с числом транзакций для каждого 100:

- эксперимент № 1 – узлы А и В отправляют сообщения узлу С с равным приоритетом;
- эксперимент № 2 – узел А отправляет сообщения узлу С с приоритетом выше узла В.

Результаты экспериментов иллюстрируют временные диаграммы принимаемых узлом С сообщений (рис. 4). На диаграммах пакет, принятый первым, имеет высокое значение, вторым – низкое.

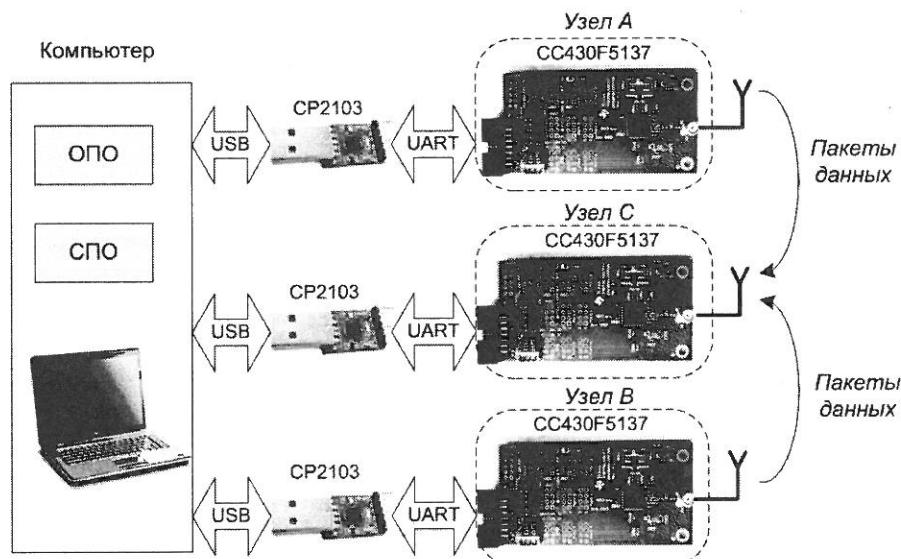


Рис. 3. Экспериментальный стенд для частного случая информационного обмена

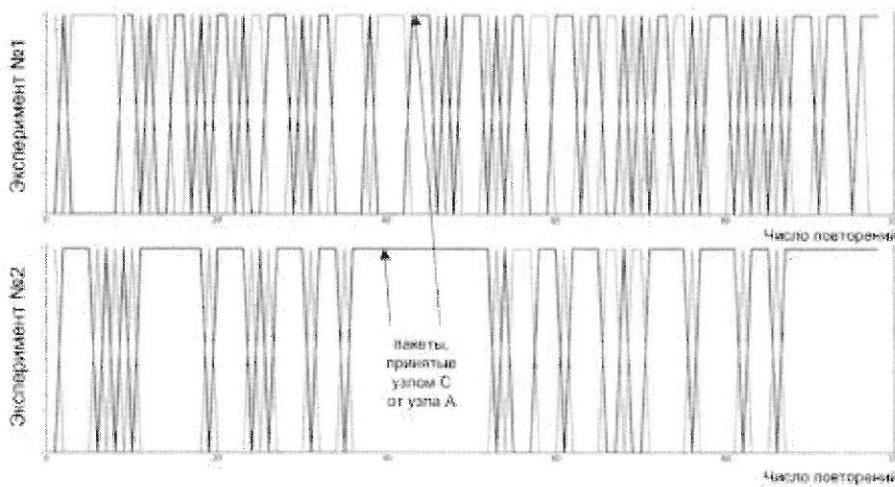
Из графиков видно, что в эксперименте № 1 сообщения от обоих узлов передаются в равновероятностном порядке, а в эксперименте № 2 высокоприоритетные сообщения узла А передаются на узел С первыми гораздо чаще. Так как система

вероятностная, не исключены случаи, когда неприоритетная посылка будет приходить первой. Вероятность прохождения таких событий можно корректировать изменением величины  $T$  формулы 2.

## Выводы

В целом, модификация CSMA/CA на основе приоритетов удовлетворяет поставленной задаче, улучшает ЭМС информационного обмена, пригодна для передачи высокоприоритетного трафика и может быть легко реализована на доступной элементной базе.

Предложенный способ реализован в устройствах на базе управляемых приёмопередатчиков CC430F5137 компании Texas Instrument. Проведенные эксперименты подтвердили ожидаемый результат при передаче голосовых данных.



**Рис.4. Результаты экспериментов**

### Список литературы

1. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е издание. – СПб.: Питер 2012. – 960 с
2. Аминев Д.А., Увайсов С.У. Анализ протоколов для передачи высокоскоростных потоков данных в межмодульных сетевых соединениях. // VI международная научно-практическая конференция «информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве». Протвино. 2–6 июля 2012. – Сборник трудов, часть 2. – С. 198–201.
3. Аминев Д.А., Козырев А.А. К вопросу об оценки стоимости организации канала связи для передачи информации.// Труды НИИР. – 2012. – С. 3–7.
4. Кечиев Л. Н., Степанов П. В. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций / Отв. ред.: Е. А. Дубровская. – М.: Издательский Дом «Технологии», 2005. – 356 с.
5. Электромагнитная совместимость и проектирование электронных средств (2012) / Под общ. ред.: Л. Н. Кечиев. М.: МИЭМ, 2012.
6. Аминев Д. А., Азизов Р. Ф., Увайсов С. У. Программная интеграция элементов узла децентрализованной сети // В кн.: Инновационные информационные технологии: Материалы международной научно-практической конференции / Отв. ред.: И. А. Иванов; под общ. ред.: С. У. Увайсов. . Т. 3. М.: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2013. С. 23–26.
7. «IEEE Standard 802.3-2008». IEEE. Retrieved 22 September 2010.

**В данной научной работе использованы результаты проекта «Разработка методологии автоматизированного надежностного проектирования электронных средств дистанционного мониторинга распределенных систем», выполненного в рамках Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ в 2013 году.**

*Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Статья поступила 18.08.2013.*

*Azizov R.F., Aminev D.A., Uvaysov S.U., Ivanov I.A.*

### **Organization of Communication with Priorities for the Decentralized Network**

The principles of communication in decentralized networks is reviewed. A desk review of existing methods of access to the airwaves in the nodes of the network and identifies their shortcomings related to electromagnetic compatibility. A way to exchange data with the priorities is proposed.

**Keywords:** decentralized network, media access, data transmission

*National Research University Higher School of Economics*

## АВТОРЫ НОМЕРА

### ВНИМАНИЕ! ПРОДОЛЖАЕТСЯ ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ «ТЕХНОЛОГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ»

**Объединенный каталог «Прессы России» агентства «Книга-Сервис»**

10362 – полугодовой индекс. Через редакцию – (на любой срок) по тел.: 8-985-134-4367.

**Азизов Радомир Фаилович**, аспирант НИУ ВШЭ; тел. 89653087497, [radomir.azizov@gmail.com](mailto:radomir.azizov@gmail.com).

**Аминев Дмитрий Андреевич**, к.т.н., кафедра РЭТ НИУ ВШЭ, менеджер, тел. 89067406453, [aminev.d.a@ya.ru](mailto:aminev.d.a@ya.ru).

**Гузенкова Александра Сергеевна**, к.т.н., доцент кафедры физической химии и экологии НИУ ВШЭ, [aguzenkova@hse.ru](mailto:aguzenkova@hse.ru); [guzenkovaalexandra@rambler.ru](mailto:guzenkovaalexandra@rambler.ru).

**Журавлёв Николай Николаевич**, начальник управления информационных технологий НПО «Кулон», тел. (495) 687-86-56, [znn@niikulon.ru](mailto:znn@niikulon.ru).

**Захаров Андрей Андреевич**, АНО «Радиооборонтест», инженер-программист, тел. 8(495) 948-36-04.

**Захаров Андрей Васильевич**, АНО «Радиооборонтест», Генеральный директор, тел. 8(495) 948-36-04.

**Иванов Валерий Александрович**, главный специалист отдела ФГУП ЦНИИМаш, тел. (495)-513-59-23, [int@club-net.ru](mailto:int@club-net.ru).

**Иванов Илья Александрович**, к.т.н., ст. преподаватель каф. РЭТ НИУ ВШЭ, [ivanov\\_i\\_a@mail.ru](mailto:ivanov_i_a@mail.ru).

**Кириллов Владимир Юрьевич**, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Теоретическая электротехника» НИУ МАИ, тел. (495)-158-49-01, [emc@mai.ru](mailto:emc@mai.ru).

**Кирша Александр Викторович**, м.н.с., кафедра «Информационные технологии проектирования электронно-вычислительных средств» КГ НИТУ им. А. Н. Туполева, моб. тел. 8-905-315-5851, [kirshaav@rambler.ru](mailto:kirshaav@rambler.ru).

**Котельников Дмитрий Сергеевич**, ст. преп. каф. РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ, [Dmitrik@certconsult.ru](mailto:Dmitrik@certconsult.ru).

**Михеев Вячеслав Алексеевич**, к.т.н., ОАО «Инженерно-маркетинговый центр Концерна «Вега», тел. (499) 155-43-03, [mikheev@imc-vega.ru](mailto:mikheev@imc-vega.ru).

**Мозговой Юрий Дмитриевич**, д.т.н., профессор кафедры РЭТ МИЭМ НИУ ВШЭ, [y.mozgovoy@hse.ru](mailto:y.mozgovoy@hse.ru).

**Морозов Евгений Павлович**, начальник отдела ФГУП ЦНИИМаш, тел. (495)-513-59-23, [int@club-net.ru](mailto:int@club-net.ru).

**Нерето Марина Олеговна**, к.т.н., доцент кафедры физической химии и экологии МИЭМ НИУ ВШЭ, [mnereto@hse.ru](mailto:mnereto@hse.ru).

**Сахаров Константин Юрьевич**, д.т.н., начальник лаборатории ФГУП «ВНИИОФИ», тел.: (495) 437-28-47. [Sax-m12@vniiofi.ru](mailto:Sax-m12@vniiofi.ru).

**Рахманов Илья Михайлович**, зам. начальника отдела радиочастотной идентификации, ОАО «ИМЦ Концерна «Вега».

**Семин Валерий Григорьевич**, д.т.н., профессор НИУ ВШЭ, [semin\\_valeriy@mail.ru](mailto:semin_valeriy@mail.ru).

**Смирнов Дмитрий Дмитриевич**, аспирант кафедры физической химии и экологии НИУ ВШЭ, [dsmirnov@hse.ru](mailto:dsmirnov@hse.ru).

**Сухов Александр Владимирович**, инженер лаборатории генерирования и измерения параметров электромагнитных импульсов (М-12) ФГУП «ВНИИОФИ», тел.: (495) 437-28-47, [sukhov@vniiofi.ru](mailto:sukhov@vniiofi.ru).

**Романчев Виктор Сергеевич**, АНО «Радиооборонтест», начальник лаборатории ЭМС, тел. 8(495) 948-36-04.

**Томилин Максим Михайлович**, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Георетическая электротехника» НИУ МАИ, тел. (495)-158-49-01, [emc@mai.ru](mailto:emc@mai.ru).

**Уайсов Сайgid Уайсович**, д.т.н., профессор; зав.каф. РЭТ НИУ ВШЭ, тел. 84957766453, [uvaysov@yandex.ru](mailto:uvaysov@yandex.ru).

**Уткин Андрей Владимирович**, начальник отдела радиочастотной идентификации, ОАО «ИМЦ Концерна «Вега».

**Хриткин Сергей Анатольевич**, к.т.н., доцент кафедры РЭТ НИУ ВШЭ, [s.khritkin@hse.ru](mailto:s.khritkin@hse.ru).

**Чермошенцев Сергей Фёдорович**, д.т.н., профессор кафедры «Информационные технологии проектирования электронно-вычислительных средств» КГ НИТУ им. А. Н. Туполева, раб. тел. 231-00-81, [itpevc.itpevc@kstu-kai.ru](mailto:itpevc.itpevc@kstu-kai.ru).

**Четвериков Виктор Михайлович**, профессор кафедры высшей математики НИУ ВШЭ, [vchetverikov@hse.ru](mailto:vchetverikov@hse.ru).

**Шабанов Роберт Иванович**, Лауреат Государственной премии СССР. ОАО «Радиофизика», ведущий научный сотрудник. Тел. 8(495) 948-36-04.

**Яковлев Константин Михайлович**, АНО «Радиооборонтест», ведущий специалист, тел. 8(495) 948-36-04.