

**Телекоммуникационная среда в эпоху информационного общества:  
Интеллектуальные устройства и материалы функциональной электроники\***

**В.В. Бутенко<sup>1</sup>, А. С. Багдасарян<sup>1,2,3</sup>**

**<sup>1</sup> ФГУП НИИР, <sup>2</sup> ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, <sup>3</sup> НПП ТРИИС**

***Аннотация** Получение радикально новых возможностей перспективных технологий связи предполагает решение целого ряда фундаментальных и прикладных задач по поиску новых физических принципов генерации, передачи, приёма и обработки информации с использованием современных микро- и нанотехнологий.*

***Ключевые слова:** Информационное общество, телекоммуникационная среда, функциональная электроника, интеллектуальные устройства, опаловые матрицы,*

**Введение.** Одним из первых отечественных ученых, который обратил внимание на принципиально новую роль информации в современном мире, был академик Вадим Александрович Трапезников. Еще в 1966 г. известный ученый признал, что информация становится наиболее важным продуктом [1].

Сегодня уже ни у кого не возникает сомнение, что мир нарастающими темпами движется в эпоху постиндустриального развития, характерной особенностью которой является безусловная доминанта информационных процессов во всех сферах жизни и деятельности общества и человека. Эта доминанта и лежит в основе концепции новой исторической фазы возможного развития цивилизации, в которой главными продуктами производства становятся информация и знания. Эта фаза и есть информационное общество, основными отличительными чертами которого являются:

- открытость для всех;
- решающий вклад в устойчивое развитие общества и повышение качества жизни людей;
- создание условий для реализации потенциала каждого человека.

Эволюция роли и значения информации неизбежно повлекла и эволюцию телекоммуникаций как совокупности физической среды и способов передачи, приёма и обработки информации. При этом по мере развития общества развитие телекоммуникационных технологий происходит в темпе, опережающем реальные возможности общества по генерации и использованию информации. Период смены поколений телекоммуникационных технологий существенно уменьшается. В этом смысле телекоммуникации не только следуют в кильватере информационных потребностей общества, но уже в значительной мере определяют траекторию вектора развития цивилизации [2].

Получение радикально новых возможностей перспективных технологий связи предполагает решение целого ряда фундаментальных и прикладных задач по поиску новых физических принципов генерации, передачи, приёма и обработки информации [3-5]. Ведутся такие исследования в сфере функциональной

электроники. Речь - прежде всего о технологиях на поверхностных акустических волнах (ПАВ).

**Технологии ПАВ.** Основоположники этой науки академик Юрий Васильевич Гуляев и академик Владислав Иванович Пустовойт знают и нас научили понимать, что преобразование электрической энергии в звук даёт ранее недоступные возможности по точности и скорости измерений и обработки информации [3]. И сегодня мы развиваем это учение в прикладных сферах. Области применения ПАВ-технологии в современном радиоэлектронном приборостроении и системах связи общеизвестны [4-8].

С середины 60-х годов прошлого столетия, благодаря классической работе Ю.В. Гуляева и В.И. Пустовойта [3], произошло становление и получило бурное развитие новое научное направление твердотельной функциональной электроники - «Акустоэлектроника» («Акустооптика»), включая наиболее значимое с практической точки зрения применения «Пассивная Акустоэлектроника». За это время в рассматриваемой области представлены и защищены тысячи международных патентов, десятки тысяч научных публикаций, сотни внедрённых в производство изобретений. Предлагаемый специалистам в области инновационных технологий доклад является логическим продолжением успехов российских учёных. В нём представлены перспективы развития пассивной электроники в XXI веке, позволяющие проводить разработки новых классов и поколений устройств на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с уникальными характеристиками, определяющими мировой уровень в рассматриваемой области знаний.

Основными приложениями функциональной электроники, рассмотренные в настоящей работе и которые в настоящее время исследуются и адаптируются к потребностям перспективных телекоммуникаций, являются:

- радиочастотная идентификация [4,5] и мониторинг физических параметров критически важных объектов[6,7];
- фильтрация сигналов, в том числе во входных каскадах с высоким уровнем мощности [8];
- отображение информации.

Система мониторинга (рис.1) работает по принципу радиолокатора с пассивной целью [4-7]. Датчик работает в разрешённых для SRD устройств диапазонах (например, ~433 МГц) в режиме линии задержки на ПАВ в разрешённых полосах частот (например, ~1 МГц). Приёмник этого диапазона имеет чувствительность  $P_0=3 \cdot 10^{-15} \text{ Вт}=150 \text{ дБ/Вт}$  при отношении сигнала к шуму 10 дБ в рабочей полосе частот и расстоянии до 10 м. При использовании шумоподобных сигналов длины более миллиона, дальность надёжной работы дистанционного скрытого пассивного датчика увеличивается до 50 м. В этом случае один приёмник может обеспечить нормальную работу нескольких десятков кодированных сенсоров и обеспечить, например, надёжное обнаружение взрывчатых веществ в пунктах большой пропускной способности людей.

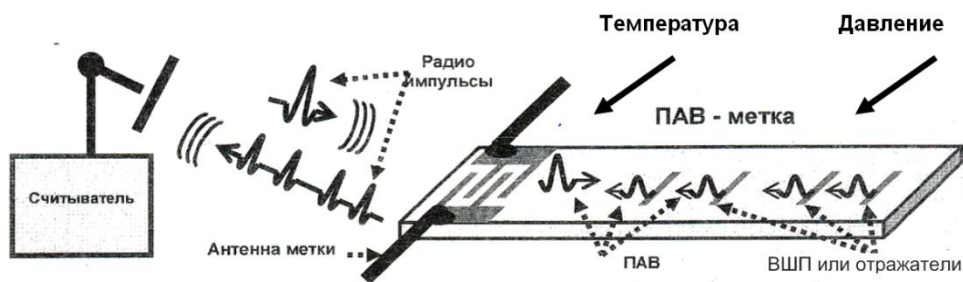


Рис. 1 Принципы построения систем радиочастотной идентификации и мониторинга физических параметров критически важных объектов

Датчик представляет собой пассивную структуру на ПАВ, подложка которой содержит встречно-штыревой преобразователь (ВШП) и множество отражающих полосок. Преобразователь подключён к антенне, согласованный в рабочем диапазоне частот. Акустические колебания возбуждаются преобразователем после облучения антенны электромагнитным сигналом в заданном диапазоне частот. В зависимости от внешнего воздействия (давления, температуры, радиационного излучения, изменение газового состава) среды, в которой находится сенсор, существенно изменяются физические характеристики ПАВ-структуры, приводящие к изменению скорости и условий распространения поверхностных акустических волн. В результате, через 5-20 мкс в антенне появляется отражённый сигнал, который излучается в пространство и может быть успешно обнаружен приёмным мультипроцессорным устройством. Приёмное устройство принимает отражённый сигнал, проводит измерения его параметров и принимает решение, например, о наличии или отсутствии в газовой среде искомым веществ. Каждый сенсор имеет индивидуальные характеристики отражения сигнала.

Отличительными особенностями датчиков на ПАВ являются их устойчивость к радиации, невосприимчивость к электромагнитным помехам, отсутствие возможности клонирования, подделки, широкий температурный режим работы, невозможность обнаружения иными средствами, помимо средств, входящих в состав системы мониторинга с одновременной радиочастотной идентификацией.

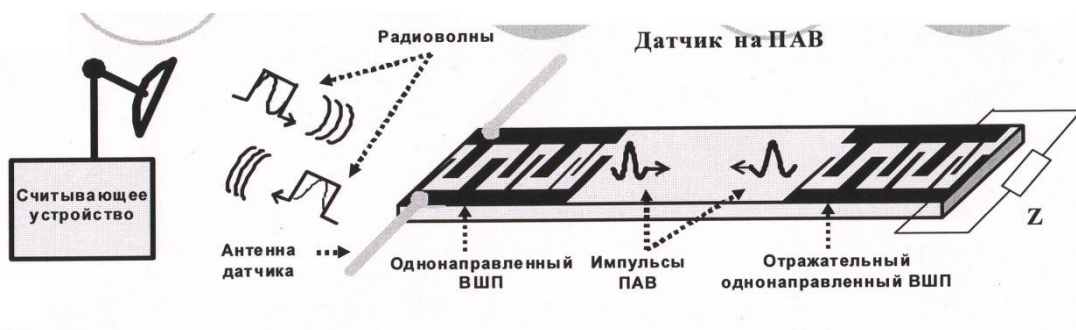


Рис. 2 Пассивный ПАВ-датчик физической величины с внешней чувствительной нагрузкой

Датчик может также представлять собой линию задержки (ЛЗ) на ПАВ, содержащую два ВШП (рис.2.). Первый преобразователь соединён с приёмно-передающей антенной, второй представляет собой отражательный ВШП, нагруженный на чувствительный элемент. Величина нагрузки  $Z$ , очевидно, зависит от измеряемого параметра (давления, влажности, температуры, интенсивности

излучения и т.п.). При изменении величины нагрузки под действием измеряемой физической величины меняется коэффициент отражения ПАВ от отражательного ВШП [6].

**Интеллектуальные ПАВ-устройства: новые возможности телекоммуникационных систем.** На основе мировых тенденций одной из главных перспектив развития техники ПАВ является создание интеллектуальных устройств с новыми возможностями: балансных фильтров с самосогласованием и преобразованием импедансов, ПАВ-микросборок и модулей, платформ с интеграцией ПАВ-, WLP-, LTCC-технологий, радиочастотных меток (РЧМ) на ПАВ, объединенных с датчиками различных физических величин. В работе [9] для каждого типа таких устройств представлены количественные и качественные характеристики как зарубежных, так и отечественных разработчиков, и производителей техники ПАВ. По прогнозам потенциальный объем выпуска пассивных РЧМ на ПАВ значительно превысит объем выпуска фильтров на ПАВ. Объединение РЧМ с различными датчиками приводит к созданию интеллектуальных устройств на ПАВ с возможностью измерения, например, давления, температуры, изгиба, и радиопередачи сигнала с метки, содержащего информацию о коде метки и измеряемых физических величинах (рис. 1, 2). Наилучшим решением для построения беспроводного высокотемпературного датчика является РЧМ, выполненная на кристалле лангасита, пьезоэлектрические свойства которого сохраняются до 1200 °С. Известно успешное использование решетки из шести ПАВ-датчиков на лангасите, совмещенных с РЧМ на ПАВ на частоты 280–300 МГц, для измерения температуры в диапазоне 355–406 °С на ТЭЦ вместо устаревших и громоздких термопар [10].

Снижение вносимого затухания в интеллектуальных устройствах на ПАВ возможно за счет согласования однонаправленного ВШП с антенной метки. В настоящее время эффективно применяется монтаж кристаллов РЧМ на ПАВ в многослойный корпус на основе LTCC с встроенной согласующей индуктивностью (рис. 3) [11]. Представленные решения, направленные на снижение вносимого затухания РЧМ на ПАВ, дополняют и расширяют возможности интеллектуального ПАВ устройства, совмещающего в одном корпусе датчик(и) и радиометку на ПАВ.

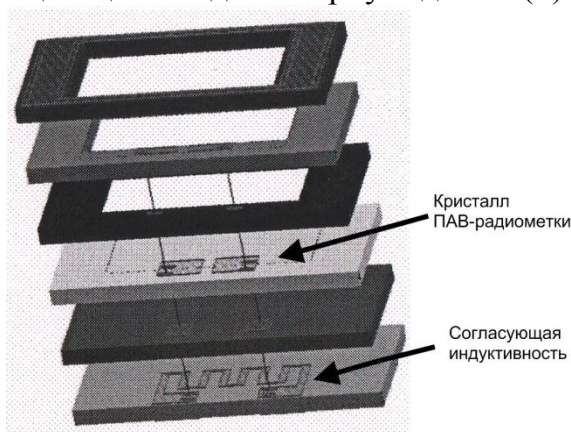


Рис.3 Многослойная LTCC плата РЧМ на ПАВ с согласующей индуктивностью

Применение LTCC-технологии для монтажа кристаллов РЧМ на ПАВ обеспечило их высокие электрические характеристики, надежность, высокую степень миниатюризации и совместимость с технологией поверхностного монтажа. Нами найдены также новые конструктивно-технологические решения РЧМ с невзаимными СВЧ устройствами, в которых кодовая последовательность метки формируется за счет приема ПАВ (и преобразования по мере распространения в линии задержки поверхностных акустических волн в электромагнитный сигнал). Разработаны технологические основы получения нанокompозитов на основе решетчатых упаковок микросфер кремнезема (рис.4) для создания невзаимных устройств в составе РЧМ на ПАВ нового поколения [12-14].

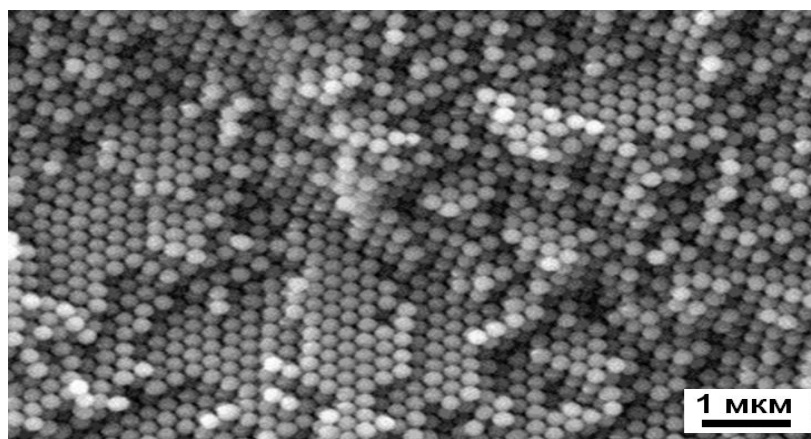


Рис.4 Снимок (растровая электронная микроскопия) поверхности роста опаловой матрицы

**Интеллектуальные ПАВ-устройства и опаловые матрицы: новые возможности в медицине.** Все приведенные выше исследования носят междисциплинарный характер и находят применения не только в области телекоммуникационных технологий, но и в других областях сферы деятельности человека, например, в медицине. Так, одной из важных задач современной медицины является определение индивидуального сердечно-сосудистого риска. Существующие на сегодняшний день методы зачастую трудоемки и требуют дорогостоящего оборудования. Рассмотренные выше системы радиочастотной идентификации и мониторинга с использованием беспроводных датчиков призваны решить следующие задачи: - прогнозировать опасные для жизни осложнения на ранних стадиях:

- обеспечить своевременность диагностики и проведения необходимых лечебных мероприятий

- с помощью беспроводных технологий в режиме реального времени дистанционно оценивать параметры сердечно-сосудистой системы при проведении СМАД и ХМ ЭКГ

- оценивать различия тонического состояния сосудов и вариабельность сердечного ритма; наблюдать изменения сердечного ритма и АД в режиме реального времени.

Данная скрининг-диагностика состояния сердечно-сосудистой системы открывает широкие функциональные возможности, в том числе, позволяя

определять адаптированность к физическим нагрузкам. Все выше перечисленное помогает врачу оперативно отслеживать динамику показателей сердечно-сосудистой системы и принимать верное решение в отношении тактики ведения пациента, а также адекватно контролировать эффективность проводимых лечебных и спортивных мероприятий [15].

В работах [16-17] проведены уникальные исследования на стыке нанотехники и медицины. (по предполагаемому использованию опаловых матриц в медицине). На рис.5 и 6. представлены результаты этих исследований для:

1. культивирования и размножения клеточной массы;
2. генерирования (без применения рентгеновских трубок) импульсного рентгеновского излучения (объем излучателя – образца опаловой матрицы <1 мм<sup>3</sup>).

По первому направлению. Прогресс в реконструктивно-пластической хирургии в различных разделах медицины в значительной мере зависит от внедрения современных нано материалов в качестве трехмерных матриц для клеточных и тканевых культур. Выбранный для технологической проработки метод формирования наноструктур обеспечивает получение на их основе биоматериалов нового поколения (с учетом результатов моделирования свойств живых биологических тканей) таким образом, чтобы, при необходимости, они могли замещать структурные и (по возможности) функциональные дефекты, возникающие при оперативных вмешательствах, а также иметь высокую биологическую безопасность. Одной из ключевых проблем создания био- искусственных органов и тканей является разработка матриц (носителей) для клеток с использованием нано частиц различных материалов. Исследования возможностей дифференцировки стволовых клеток из костного мозга, жировой ткани, периферической крови и других источников позволяют надеяться на возможность восстановления, с использованием таких клеток, структурных и функциональных дефектов многих органов и тканей. Для разработки адекватных гибридных структур, необходим поиск в области моделирования, синтеза и изучения взаимодействия соответствующих биологических тканей и наночастиц как основы композиционных материалов [16].



Рис. 5 Культивирование фибропластов человека на опаловых матрицах (7сутки, МТТ-тест)

По второму направлению. В результате взаимодействия импульсного лазерного излучения (наносекундного диапазона длительности) с опаловой матрицей (трехмерной фотонно фононной средой – решетчатой упаковкой наносфер SiO<sub>2</sub>) генерируется рентгеновское излучение, регистрируемое рентгеновской фотопленкой (см. Рис.6 с рентгеновской пленкой). Указанный способ дает возможность формировать импульсное рентгеновское излучение  $10^{-3}$  рад, при этом, интегральная энергия в единичном-с расходимостью менее 1 импульсе составляет 0,4–0,5 Вт при длительности в доли миллисекунды, что дает мощность близкую к генерируемой микрофокусной рентгеновской трубкой [16,17].

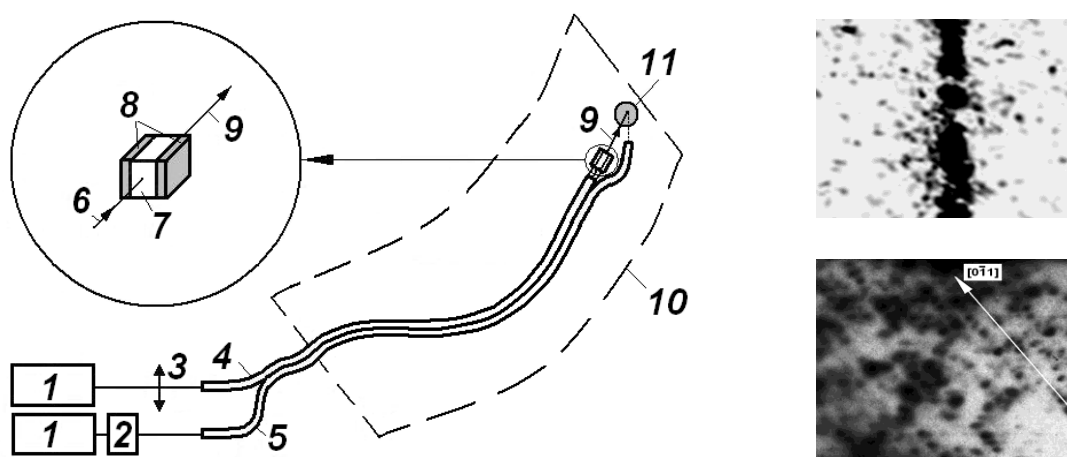


Рис. 6. Схема эндоскопического устройства для генерации направленного импульсного рентгеновского излучения: 1 – лазер; 2 – система изображения исследуемого объекта или регистрации спектров КР; 3 – оптическая система фокусирования лазерного излучения; 4, 5 – волоконно-оптические кабели; 6 – подвод лазерной накачки по оптическому кабелю; 7 – опаловая матрица (ОМ); 8 – пластины из пьезоэлектрических материалов; 9 – импульсное рентгеновское излучение; 10 – исследуемая полость; 11 – объект воздействия рентгеновского излучения

Есть основания полагать, что при надлежащем выборе параметров ОМ, параметров лазерного излучения, а также условий проведения эксперимента существует возможность для увеличения энергии квантов рентгеновского излучения до значений, которые позволят использовать данный способ его получения в промышленных и медицинских целях.

\* Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты № 18-07-00282 А и № 18-09-02076 МК).

#### Список используемых источников

1. Трапезников В.А. Управление экономики и технический прогресс //Труды III Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению. Лондон 20-25 июня 1966 Москва Наука 1972г. 499 с. <http://trap-ipu.narod.ru/>
2. A.S. Bagdasarian, S.A. Bagdasarian, V.V. Butenko, Gulyaev Yu.V. , Mkrtychyan A.R. TELECOMMUNICATIONS ENVIRONMENT IN THE ERA OF INFORMATION SOCIETY // 5th

- International Conference on «Electron, Positron, Neutron and X-ray Scattering under External Influences», Yerevan — Megri, Armenia\_16-22.10.2017 P.97
3. Гуляев Ю.В., Пустовойт В.И. Усиление поверхностных волн в полупроводниках// ЖЭТФ. 1964, Т.47. С.2251-2253.
  4. Багдасарян С.А., Гуляев Ю.В. Радиочастотная идентификация с использованием технологии ПАВ// Наука и технологии в промышленности. 2005. №1. С.54.
  5. Багдасарян С.А., Николаева С.О., Подшивалова Г.В., Семенов Р.В. Оценка дальности действия систем радиочастотной идентификации в условиях природных и техногенных катастроф// Теория и техника радиосвязи. 2012.№4. С. 11-16.
  6. Багдасарян С., Днепровский В., Карапетьян Г., Нефедова Н., Сеницына Т. ПАВ-датчики дистанционного контроля физических величин // Электроника: Наука, технология. Бизнес. 2008. № 1 (83). С. 46-51.
  7. Карапетьян Г.Я., Днепровский В.Г., Багдасарян С.А., Багдасарян А.С., Николаев А.Л., Кайдашев Е.М. Пассивный беспроводной датчик на поверхностных акустических волнах для измерения параметров газовых и жидких сред // Инженерный вестник Дона. 2012. № 2 (20) С. 186-190
  8. Багдасарян А., Багдасарян С., Карапетьян Г., Машинин О., Сеницына Т. Импедансные ПАВ-фильтры для телекоммуникационных систем. Российский приоритет// Электроника: Наука, технология. Бизнес. 2014, № 7 (139). С. 48-65.
  9. Багдасарян А.С., Гуляев Ю.В., Доберштейн С.А., Сеницына Т. В., Багдасарян С.А. Интеллектуальные устройства на ПАВ: Новые возможности // Техника радиосвязи. 2018. № 2 (37). С. 64-73.
  10. M. Pereira da Cunha [et al.] Wireless Harsh Environment SAW Array System for Power Plant Application / Proc. IEEE Ultrasonics Symposium. 2014. P. 381–384.
  11. В. В. Бутенко [и др.] /Акустоэлектронные идентификационные метки в керамике LTCC / Труды научно-исследовательского института радио. 2013. № 1. С. 16–23.
  12. Alexey Belyanin, Alexander Bagdasarian, Sergey Bagdasarian, Petr Luchnikov and Natalya Katakhova Magnetic Nanocomposites Based on Opal Matrices / Key Engineering Materials Submitted Vol. 781 pp 149-154 © 2018 Trans Tech Publications, Switzerland DOI 10.4028
  13. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Бутенко В.В., Карапетьян Г.Я. Датчик на поверхностных акустических волнах/ Патент на полезную модель №180995 [03.07.2018](#) Бюл. № 19
  14. Багдасарян С.А. Радиочастотные компоненты на поверхностных акустических волнах с невзаимными СВЧ устройствами / Материалы Международной научно-технической конференции, 19 – 23 ноября 2018 г. Москва РТУ МИРЭА INTERMATIC – 2 0 1 8, часть 3. с. 526-530
  15. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А. Информационные технологии с использованием радиомониторинга в общей врачебной практике / Материалы Международной научно-технической конференции, 19 – 23 ноября 2018 г. Москва РТУ МИРЭА INTERMATIC– 2 0 1 8, часть 3. С. 521-525
  16. Багдасарян А.С., Багдасарян С.А., Белянин А.Ф., Кашенко О.В., Павлюкова Е.Р. Информационные технологии для реализации пациент-ориентированного подхода в системе управления лечебно-диагностическим процессом у больных артериальной гипертензией Доклад на VI Междисциплинарном конгрессе по заболеваниям органов головы и шеи. НМИЦ Нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. г. Москва, 17 мая 2018
  17. Багдасарян А.С., Белянин А.Ф., Багдасарян С.А. Эндоскоп направленного импульсного рентгеновского излучения / Материалы Международной научно-технической конференции, 19 – 23 ноября 2018 г. Москва РТУ МИРЭА INTERMATIC– 2 0 1 8, часть 3. С. 646-649



### **Сведения об авторах:**

**Багдасарян Александр Сергеевич** – д.т.н., профессор, академик НАН Республики Армения, главный научный сотрудник, Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН,

Научный консультант генерального директора ФГУП НИИР

e-mail: [bagdassarian@mail.ru](mailto:bagdassarian@mail.ru) , [bas@niir.ru](mailto:bas@niir.ru)

**Бутенко Валерий Владимирович** – д.т.н., генеральный директор ФГУП НИИР

e-mail: [butenko@niir.ru](mailto:butenko@niir.ru)

## **TELECOMMUNICATIONS ENVIRONMENT IN THE ERA OF INFORMATION SOCIETY: Intelligent devices and materials of functional electronics**

**A.S. Bagdasarian<sup>1,2,3</sup>, V.V. Butenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Scientific research Institute of radio, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of Radio engineering and electronics after V. A. Kotelnikov of RAS, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Scientific production enterprise «Radio frequency identification Technology and communication», Moscow, Russia

@Corresponding author e-mail: [bas@niir.ru](mailto:bas@niir.ru)

Receiving considerably new possibilities of promising technologies involves solving a number of fundamental and applied problems in the search for new physical principles of generation, transmission, reception and processing of information using modern micro and nano - technologies.