

Радиоэлектронные, биотехнические и информационные технологии в учебной и научной работе кафедры медицинской радиоэлектроники ГУАП

Аннотация

В статье описаны образовательные программы по биомедицинской радиоэлектронике и информатике, разработанные и внедренные на кафедре медицинской радиоэлектроники ГУАП. Среди научных технологий из области интересов ведущей научной школы «Радиоэлектронные и информационные средства оценки физиологических параметров живых систем» рассмотрены разработанная коллективом электрокардиография сверхвысокого разрешения, обеспечивающая разработку методов ранней диагностики кардиозаболеваний, а также радиоэлектронные методы и средства решения задач телемедицины.

Кафедра медицинской радиоэлектроники ГУАП готовит специалистов, бакалавров и магистров в области радиоэлектроники, радиосвязи, информатики и медицинской техники, внедрив несколько оригинальных образовательных программ по подготовке квалифицированных кадров для нужд здравоохранения. В 1992 году на кафедре медицинской радиоэлектроники (МРЭ) в рамках специальности «Радиоэлектронные системы» была официально открыта специализация «Медико-биологические электронные компьютеризированные системы» для подготовки специалистов в области биомедицинской радиоэлектроники. Для улучшения этой подготовки в 1993 году совместно с Санкт-Петербургским государственным медицинским университетом им. акад. И.П. Павлова (СПбГМУ) была открыта программа двойного параллельного высшего образования со второй специальностью «Биотехнические и медицинские аппараты и системы». С тех пор эти два вуза реализуют данную инновационную образовательную программу, которая явилась основой проекта, удостоенного в 2013 году премии Правительства Санкт-Петербурга в области высшего профессионального образования в номинации «Развитие инновационной деятельности в образовательном учреждении». В настоящее время по данной программе двойного образования проводится подготовка специалистов по специальности 210601 «Радиоэлектронные системы и комплексы», а также бакалавров и магистров по направлению 201000 «Биотехнические системы и технологии».

В 2006 году по инициативе заведующего кафедрой МРЭ ГУАП, в связи с отсутствием в Российской Федерации единого подхода к организации разработки, внедрения и использования информационно-коммуникационных технологий в медицинских учреждениях и организациях здравоохранения, двумя университетами – ГУАП и СПбГМУ – была сформулирована необходимость открытия в РФ специальности «Прикладная информатика (в здравоохранении)». Эта инициатива была поддержана Законодательным собранием Санкт-Петербурга 3-го созыва, а затем Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации и Государственной Думой Федерального собрания Российской Федерации. В 2007 году в РФ в номенклатуре специализаций специальности «Прикладная информатика», утверждаемой Министерством образования и науки, впервые была открыта новая специализация «Прикладная информатика (в здравоохранении)». Кафедра МРЭ ГУАП не только открыла данную специальность в РФ, но и первой в стране начала обучение по данной специальности

и в настоящее время готовит бакалавров и магистров в рамках направления подготовки 230700 «Прикладная информатика», профиль направления «Прикладная информатика в здравоохранении», где они получают широкую специализацию в области здравоохранения и узкую – по интегральным информационно-телекоммуникационным системам для телемедицины.

Третьим направлением учебной работы кафедры МРЭ ГУАП является подготовка бакалавров и магистров по направлению «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Они получают глубокие знания в области теории систем и сетей связи, компьютерной техники, системотехники и схемотехники, генерирования, преобразования и обработки радиосигналов, распространения радиоволн и антенной техники. Вместе с тем эти специалисты имеют хорошую подготовку для работы в области телемедицины. Для углубленной подготовки специалистов в области телекоммуникаций в 2005 году на базе ОАО «Российский институт мощного радиостроения» была организована базовая кафедра радиостроения и средств связи для телемедицины и МЧС. Сотрудники этого института являются крупнейшими специалистами в стране в области связи в коротковолновом (КВ) диапазоне. Выпускники кафедры с такой подготовкой могут решать связанные задачи, стоящие перед телемедициной, особенно экстремальной [1].

Более подробно учебные дисциплины образовательных программ, сферы интересов и области трудоустройства выпускников кафедры МРЭ по двойному образованию в области биомедицинской радиоэлектроники описаны в [2], по прикладной информатике в здравоохранении в [3] и по системам связи для телемедицины в [4].

Большое внимание на кафедре МРЭ уделяется научной работе по тематике всех направлений ее учебной работы: радиоэлектронные системы и комплексы, инфокоммуникационные технологии и системы связи, информатика и биотехнические системы и технологии. Особый интерес представляет научная деятельность сотрудников кафедры по использованию достижений перечисленных научных областей в интересах медицинской техники и здравоохранения в целом. Сегодня не вызывает сомнений, что задачи по разработке инструментария для прорывных исследований в области физиологии и фундаментальной медицины должны формулировать биологи, физиологи и медики совместно с представителями фундаментальных и прикладных естественных и технических наук. Их эффективное решение требует организации и координации такого взаимодействия.

Для решения этих проблем при кафедре МРЭ ГУАП был создан научно-образовательный центр биомедицинской радиоэлектроники и информатики (НОЦ БРЭИ). Научные успехи коллектива были признаны в 2012 году Советом по грантам Президента Российской Федерации выдачей свидетельства НШ-3455.2012.8 коллективу ведущей научной школы «Радиоэлектронные и информационные средства оценки физиологических параметров живых систем» (РЭИС ЖС) под руководством К.В. Зайченко и признанием ее победителем конкурса грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ. В настоящее время коллективы ученых и инженеров НОЦ БРЭИ и научной школы РЭИС ЖС работают над решением следующих основных задач в области медицинской техники:

1. Разработка уникального инструментария на базе достижений радиоэлектронных и информационных технологий для тонких физиологических исследований с целью получения неизвестных ранее результатов в области физиологии и фундаментальной медицины.
2. Разработка концепций и методик обнаружения и исследования тонкой структуры сигналов биоэлектрической активности клеток, тканей и органов живых систем на фоне различных шумов и помех.
3. Разработка аппаратных, алгоритмических и программных средств обработки биоэлектрических сигналов в расширенных амплитудных и частотных диапазонах.

Для решения перечисленных научных проблем с использованием достижений современной радиоэлектроники и информатики были разработаны методы обработки биоэлектрических сигналов, снижающие минимум амплитудного диапазона до 10 нВ, расширяющие частотной диапазон до 2 кГц и обеспечивающие их высокую помехозащищенность [5], [6]. Задача необходимости исследований низкоамплитудных и высокочастотных составляющих сигналов (микрорепотенциалов) была сформулирована в начале 1990 гг. учеными кафедры МРЭ ГУАП совместно с физиологами Федерального центра сердца, крови и эндокринологии им. В.А. Алмазова (Санкт-Петербург) и СПбГМУ. Актуальность расширения амплитудного и частотного диапазонов определяется многолетними тенденциями развития электрокардиографии [7]. В связи с этим коллективом научной школы РЭИС ЖС был разработан новый способ электрокардиографии сверхвысокого разрешения (ЭКГ СВР). Ее место среди других существующих методов электрокардиографии поясняет *рис. 1*.

Новый метод ЭКГ СВР реализует следующие возможности:

- охватывает все диапазоны и может выполнять все процедуры широко используемых известных методов электрокардиографии [7];
- обеспечивает регистрацию ЭКС в уникальных амплитудном и частотном диапазонах в условиях воздействия помех различной природы [5], [6];



Рис. 1. Сравнение современных методов электрокардиографии по амплитудно-частотному диапазону регистрации ЭКС

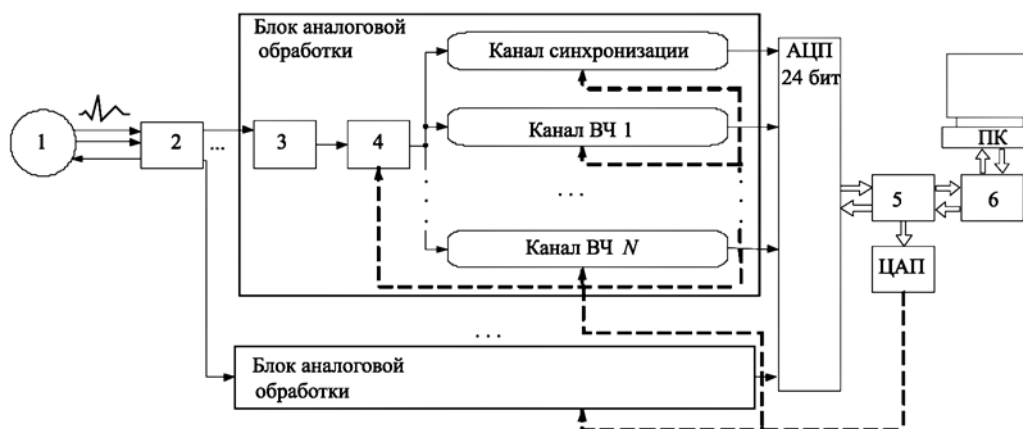


Рис. 2. Многоканальное адаптивное устройство для ЭКГ СВР: 1 — источник ЭКС; 2 — формирователь отведений; 3 — предусилитель; 4 — отключаемые режекторные фильтры; 5 — блок цифровой обработки и управления; 6 — блок USB-интерфейса и гальванической развязки

- позволяет выявить неизвестные ранее низкоамплитудные и высокочастотные информационные составляющие ЭКС – микропотенциалы [8].

Для расширения частотного диапазона регистрации были разработаны метод и устройства многоканальной адаптивной обработки ЭКС с каждого отведения [5]–[7] (см. рис. 2), позволяющие значительно повысить отношение сигнал-шум в каждом канале, что особенно важно для низкоамплитудных высокочастотных составляющих (микропотенциалов). Для реализации данного решения производится выбор оптимальных частотных диапазонов обработки ЭКС в отдельных каналах, особенно в зоне его высокочастотных (ВЧ) составляющих [7].

С целью экспериментального изучения разработанных идеологии, методик и лабораторных макетов для регистрации низкоамплитудных и высокочастотных составляющих электрокардиосигнала в расширенных амплитудном и частотном диапазонах совместно с сотрудниками СПбГМУ проводились научные исследования по изучению влияния искусственно индуцированных нарушений функций сердца подопытных животных (крыс-самцов линии Wistar) на параметры и частотный состав ЭКС в высокочастотной области спектра [7]. В экспериментах моделировалось патологическое изменение функциональной активности сердца – искусственно создавалась ишемия-реперфузия миокарда. Исследования осуществлялись с использованием авторского макета ЭКГ СВР, и регистрировались электрокардиограммы сначала здоровых подопытных животных, а затем на всех этапах развития у них искусственной ишемии, вплоть до смерти животного.

Обработка экспериментальных записей ЭКС подтвердила существование ранее неизвестных низкоамплитудных компонентов (микропотенциалов) в различных, в том числе в ранее неисследованных, временных интервалах кардиоцикла и частотных диапазонах ЭКС. Подобные изменения невозможно зафиксировать с помощью стандартных методов ЭКГ [8], [9]. Были исследованы спектральные характеристики записанных ЭКС, один из примеров их компьютерного анализа представлен на рис. 3.

Анализ большого числа записей ЭКС на разных стадиях кардиопатологий показал значительные изменения в спектральном составе этих сигналов в начальной стадии и на всех последующих этапах развития патологии у подопытного животного [8], [9]. Раннее начало ишемии, обнаруженное ЭКГ-методами, было подтверждено еще двумя методами анализа ЭКС – вычислением их вейвлет-преобразований и гистограмм распределений высокочастотных составляющих ЭКГ подопытных животных. При этом важной задачей предстоящих исследований

является формирование банка данных результатов записи и обработки ЭКГ и поиск значимых признаков появления и развития кардиопатологий.

Для современной медицины все большее значение приобретают методы автоматического анализа электрокардиосигнала (ЭКС). Среди них можно выделить следующие: оценка variability сердечного ритма, синхронное накопление и трехмерное картирование ЭКС. Метод синхронного накопления является одним из самых эффективных методов синхронного анализа, он позволяет увеличить отношение сигнал/шум при наличии интенсивных помех. Это дает возможность выделить составляющие ЭКС, обычно маскируемые помехами и внутренними шумами и настолько малые по амплитуде, что их идентификация либо затруднена, либо невозможна. Результатом такого накопления в грубом приближении является некий усредненный кардиоцикл. При использовании существующих сегодня способов синхронизации, метод синхронного анализа не может быть применен с полной эффективностью ввиду недостаточной точности выделения опорных точек ЭКС и отсутствия методик компенсации variability сердечного ритма.

Таким образом, для эффективного решения задач синхронного анализа ЭКС необходимо точное и надежное выделение его характерных точек. Под характерными точками в работе понимаются временные положения структурных элементов кардиосигнала. Наиболее исследованным и простым в детектировании является R-зубец. Однако и другие зубцы и характерные точки кардиоцикла, как показывают исследования, также могут быть использованы для синхронизации отдельных отрезков кардиоцикла. Исходя из вышеизложенного, целью отдельного цикла работ является разработка алгоритмов поиска характерных точек ЭКС.

В настоящее время выделяют несколько основных видов синхронизации серии кардиоциклов ЭКС. Самым простым, требующим минимальных вычислительных затрат, является алгоритм детектирования и временного позиционирования R-зубцов. Также можно назвать алгоритм порогового амплитудного детектора. Суть его работы сводится к отысканию локальных максимумов на всем интервале анализируемого ЭКС. Достоинствами данного алгоритма являются простота его реализации и скорость работы, недостатками – низкая устойчивость к помехам и изменчивости ЭКС. Кроме того, при некоторых видах сердечных патологий данный алгоритм может давать неверный результат детектирования [10].

Большую точность выделения характерных точек кардиосигнала по сравнению с амплитудным пороговым детектором имеет алгоритм корреляционного детектора

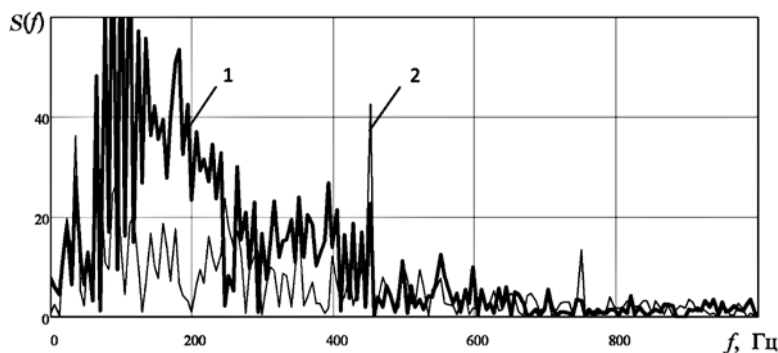


Рис. 3. Сравнение спектральных составов ЭКС, полученных до операции (кривая 1) и при начале ишемии миокарда (кривая 2)

[11]. В данном алгоритме корреляционная функция используется для принятия решения о том, найдена точка ЭКС, на которую настроен алгоритм, или нет. Решение принимается по превышению взаимно-корреляционной функцией некоего порога (выбираемого эмпирическим путем), который определяет чувствительность алгоритма. Этот алгоритм имеет большую, по сравнению с амплитудным пороговым детектором, устойчивость к помехам и изменчивости кардиосигнала и может детектировать R-зубцы даже в очень сильно зашумленном сигнале. Еще одним достоинством данного алгоритма является возможность его адаптации под конкретного пациента. Однако существенным недостатком является большой объем вычислений, необходимых для его реализации, что приводит к увеличению времени анализа ЭКС большой длительности. Кроме того, на конечный результат влияет выбор той или иной функции сравнения, поскольку она определяет конечный вид функции взаимной корреляции [11].

Одним из возможных вариантов решения задачи увеличения точности синхронизации авторами видится в создании метода выделения не только R-зубца, но и других структурных элементов ЭКГ. Однако существует ряд трудностей, вызванных, в частности, влиянием вариабельности сердечного ритма, не позволяющих эффективно решать данную задачу, опираясь только на методы и подходы, известные в электрокардиографии. Решение задачи обнаружения характерных точек информационного сигнала и определения его временных характеристик при варьировании их статистических и энергетических параметров было сделано в работе [12] применительно к проблемам радиолокации. Описанные в [12] подходы было предложено применить и к решению задачи синхронизации ЭКС.

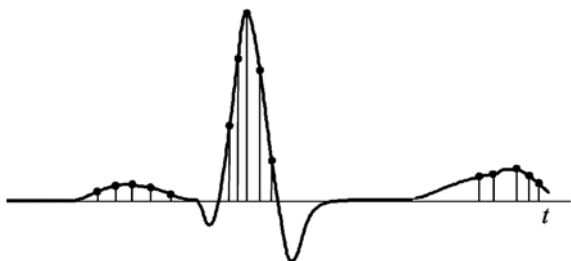


Рис. 4. Пятиотсчетный алгоритм синхронизации

Поскольку оценке параметров сигналов в большинстве реальных ситуаций предшествует установление наличия или отсутствия самого сигнала (его обнаружение), необходимо синтезировать оптимальные алгоритмы обнаружения, позволяющие производить также предварительную грубую оценку отдельных параметров входного процесса. На основе методов, предложенных в работе [12], были синтезированы различные прецизионные многоотсчетные алгоритмы синхронизации с использованием цифровой обработки ЭКС. Для их реализации формируются ряды отсчетов сигнальных выбросов биоэлектрических сигналов (рис. 4) с последующим математическим расчетом временного положения их характерных точек, выбранных для синхронизации процессов. Оптимальный алгоритм обработки для конкретного сигнального выброса синтезируется с учетом его формы, изменчивости ее от цикла к циклу и характеристик ее асимметрии. На рис. 4 приведены различные виды формирования отсчетов в пятиотсчетном алгоритме. Таким образом, можно сделать вывод, что для увеличения точности и

надежности синхронизации требуется разработка новых алгоритмов поиска характерных точек ЭКС. Наиболее перспективными и высокоточными видятся многоотсчетные методы определения временных характеристик отдельных элементов внутри каждого кардиоцикла.

Еще одним важным научным направлением в работе кафедры МРЭ ГУАП и НОЦ БРЭИ является телемедицинская тематика. В настоящее время во многих странах и в международных организациях разрабатываются многочисленные телемедицинские проекты, получают развитие международные сети медицинских телекоммуникаций. Необходимость развития телемедицины в России также была утверждена на самом высоком уровне [13]. Особое значение обеспечение работоспособности телемедицинских систем приобретает в экстремальных условиях. Развитием систем оказания помощи в экстремальных условиях занимается экстремальная медицина [14], у которой есть три направления: космическое, спортивное и военное. При этом следует подчеркнуть, что работа врачей в зоне военных действий значительно отличается от сферы деятельности обычного врача. Это тяжелые травмы пациентов, ранения, оторванные конечности и ожоги, что требует громадного медицинского опыта для принятия правильных решений. Военный врач должен определять, у каких пациентов есть шанс на выживание, а у каких его нет, ведь в условиях военных действий врачи не могут потратить три часа на безнадежного больного, в то время как пострадавшие с большими шансами на выживание умирают без врачебной помощи. Все это требует срочных консультаций по специальному каналу связи.

Еще одной сферой обязательного применения телемедицины является медицина катастроф. Ее задачей является организация оказания медицинской помощи (вплоть до специализированной) пострадавшим в чрезвычайных ситуациях или в условиях массового проявления заболеваний. В этих случаях зачастую складывается ситуация «один врач – множество больных», в отличие от обычной медицины, где обычной является практика «один врач – один больной» или «много врачей – один больной». А в условиях чрезвычайной ситуации – внезапно возникшего события, в результате которого несколько человек находятся в тяжелом состоянии, наличие возможности удаленных консультаций со специалистами является принципиально необходимым. Различают чрезвычайные ситуации локального (1...10 пострадавших), территориального (10...50 пострадавших), регионального (50...500 пострадавших), федерального (более 500 пострадавших) и международного уровня [15]. Существует понятие «чрезвычайная ситуация в медицине» – положение, когда органы здравоохранения различного уровня не справляются на месте с наплывом пострадавших. Такую ситуацию также облегчает использование возможностей телемедицины.

Применение телемедицины в экстремальных условиях требует разработки специального инструментария, учитывающего все основные особенности и требования, возникающие в военных (полевых) условиях и в условиях катастроф, террористических актов и т. п. Утечка конфиденциальной информации в таких случаях недопустима. Необходимо учитывать, что спутниковая радиосвязь в условиях военных действий и спецопераций может быть отключена или подавлена. Единственным надежным каналом связи остается коротковолновая (КВ) радиосвязь. Для решения указанных проблем требуются развитие и

разработка специальных радиотехнических средств, призванных обеспечивать в первую очередь экстремальную медицину, военную медицину и медицину катастроф. Данное направление, развиваемое в ведущей научной школе РЭИС ЖС, названо экстремальной телемедициной (ЭТМ) [1]. Одной из важнейших задач, решаемых нашим коллективом для ЭТМ, является создание помехозащищенных КВ-каналов связи.

Список литературы:

1. *Зайченко К.В.* Проблемы передачи информации в экстремальной телемедицине // Прил. ж. «Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте». Серия 1 «Экономика и управление». 2013.
2. *Кулыгина Л.А.* Радиоэлектронные и биотехнические технологии в учебной работе кафедры медицинской радиоэлектроники ГУАП и в научных исследованиях по адаптивной первичной обработке биоэлектрических сигналов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 8.
3. *Краснова А.И.* Прикладная информатика в учебной работе кафедры медицинской радиоэлектроники ГУАП и в научных исследованиях по вторичной обработке биоэлектрических сигналов // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 8.
4. *Михайлов В.Ф.* Радиометрический метод обнаружения людей в зоне техногенных катастроф // Биомедицинская радиоэлектроника. 2013. № 8.
5. *Зайченко К.В., Сергеев Т.В.* Аналоговая обработка биоэлектрических сигналов со сверхвысоким разрешением // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2009. № 3.
6. *Zaichenko K.V., Sergeev T.V.* Method of analog two-channel ECG signal processing with ultrahigh resolution from one standard lead / 5th Russian-Bavarian Conference on Biomedical Engineering (RBC-2009). Germany. Munich. 2009.
7. *Зайченко К.В., Зяблицкий А.В., Краснова А.И., Сергеев Т.В.* От струнного гальванометра до электрокардиографии сверхвысокого разрешения // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 9.
8. *Zaichenko K.V., Sergeev T.V.* Research normal and pathological bioelectrical activity of animals heart / 7th Russian Bavarian Conference (RBC-2011). Germany. Erlangen. 2011.
9. *Зайченко К.В., Сергеев Т.В.* Исследование электрокардиосигналов сверхвысокого разрешения в процессе развития кардиопатологий // Биомедицинская радиоэлектроника. Радиоэлектроника. № 12. 2012.
10. *Зайченко К.В., Киселев Н.Н., Кузнецов А.А.* Методы поиска характерных точек электрокардиосигнала для синхронизации // Прил. ж. «Вестник Московского университета им. С.Ю. Витте». Серия 1 «Экономика и управление». 2013.
11. *Зайченко К.В., Зяблицкий А.В.* Высокоточная синхронизация электрокардиосигналов сверхвысокого разрешения // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. 2010. № 1.
12. *Зайченко К.В.* Чувствительные элементы со структурной избыточностью. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1990. 200 с.
13. Стенографический отчет о заседании Комиссии по модернизации и технологическому развитию экономики России. Московская область, Горки, 2010 г. / <http://президент.рф/transcripts/7742>.
14. *Татарова Т.Б.* Экстремальная и военная медицина. Уч. пособие. – Ставрополь.: СГМА, 2011.
15. *Гриссби Д., Сандерс Д.Х.* Телемедицина: уровень развития и перспективы // Международный журнал медицинской практики. 1999. № 3. С. 52-56.

*Кирилл Вадимович Зайченко,
д-р техн. наук, профессор,
зав. кафедрой медицинской радиоэлектроники,
Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения (ГУАП),
директор научно-образовательного центра
биомедицинской радиоэлектроники и информатики,
руководитель ведущей научной школы
«Радиоэлектронные и информационные средства
оценки физиологических параметров живых систем»,
г. С.-Петербург,
e-mail: kvz_k41@aanet.ru*

Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов (МНТО ПМ) – издатель журнала «ПРИБОРЫ»

Международное научно-техническое общество приборостроителей и метрологов издает отраслевой научно-технический и производственный журнал «ПРИБОРЫ», отражающий состояние современного российского рынка приборостроительной продукции, интересы предприятий и потребителей, результаты деятельности разработчиков новых изделий и систем автоматизации, аналитические обзоры состояния этой сферы науки, техники и производства. Журнал ориентирован на широкий круг специалистов промышленности, предпринимателей, работников фирм и вузов, заинтересованных в систематическом получении актуальной и достоверной информации о выпускаемых в России и странах СНГ приборах и средствах автоматизации, о новых изделиях, предлагаемых потребителям, а также о действующих нормативных документах и рекомендациях. Журнал публикует материалы о новых методах измерений, сбора и представления измерительной и контрольной информации, новых конструкторских и технологических решениях, новых технологиях и материалах, составляющих основу создания новой конкурентоспособной продукции, осуществляет систематические публикации материалов по созданию и эксплуатации систем автоматизации различного назначения для отраслей промышленности, науки, по информационным технологиям, программно-техническим комплексам. Публикуется информация о профиле и продукции отдельных приборостроительных предприятий, их новых разработках, производственных и технологических возможностях и интересах. Тесные связи нашего Общества и редакции с Международной конфедерацией по измерениям (ИМЕКО) позволяют постоянно знакомить наших читателей с материалами этой весьма авторитетной международной профессиональной организации.

Журнал зарегистрирован в ВАК РФ как научное издание.

Журнал выходит 12 раз в год и распространяется по подписке.
Индекс журнала в каталоге Агентства «Роспечать» – 79727.

В редакции можно оформить льготную подписку на 2013 год.
Стоимость годовой подписки (12 экз.) – 11400 руб.

Заявки принимаются по тел./факсу: (495) 695-10-71
или по e-mail: kavalerov@mail.ru.

Более подробная информация о журнале «Приборы» – на сайте: www.pribory-smi.ru.