

ние концентрации вещества в диализате за период T ; V – объем диализата, который использовался в эксперименте.

$$v_{\text{пик}} = \frac{\mu \cdot \Delta c \cdot V}{\Delta t}, \quad (3)$$

где $v_{\text{пик}}$ – пиковая массовая скорость удаления вещества из диализата, г/ч; $\Delta t = 1$ ч.

В соответствии с приведенными выше формулами, массовая скорость удаления креатинина за 8 ч эксперимента составляет 0,26 г/ч, при этом пиковая массовая скорость в первый час эксперимента составляет 1,69 г/ч. Массовая скорость удаления мочевой кислоты за 8 ч эксперимента составляет 0,05 г/ч, при этом пиковая скорость удаления мочевой кислоты составляет 0,27 г/ч. Масса мочевины, удаленной за 8 ч эксперимента с помощью КСК, составляет 7,15 г.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- 1) ферментативный метод может использоваться для регенерации отработанного диализирующего раствора, а комплексная сорбционная колонка позволяет удалить из модельного раствора отработанного диализата все необходимые маркеры диализа с физиологически допустимыми скоростями;
- 2) активность иммобилизированной уреазы уменьшается почти в три раза в течение недели после ее изготовления, что указывает на значительную сложность ее хранения;
- 3) вследствие разницы температур хранения и использования фермента требуется его предварительная подготовка перед использованием.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.578.21.0011 от 5 июня 2014 г., уникальный идентификатор проекта – RFMEFI57814X0011).

Список литературы:

1. Kooman O.P., Joles J.A., Gerritsen K.G. Creating a wearable artificial kidney: Where are we now? // Expert Review of Medical Devices. 2015. Vol. 12. № 4. PP. 373-376.
2. AWAK Technologies. Los Angeles, 2015 / <http://www.awak.com>. (January 20, 2016).
3. Agar J.W.M. Review: Understanding sorbent dialysis systems // Nephrology. 2010. Vol. 15. № 4. PP. 406-411.
4. Blumenkrantz M.J., Gordon A., Roberts M., Lewin A.J., Pecker E.A., Moran J.K., Coburn J.W., Maxwell M.H. Applications of the REDY sorbent system to hemodialysis and peritoneal dialysis // Artificial Organs. 1979. Vol. 3. № 3. PP. 230-236.
5. Fidaleo M., Lavecchia R. Kinetic Study of Enzymatic Urea Hydrolysis in the pH Range 4–9 // Chemical and Biochemical Engineering Quarterly. 2003. Vol. 17. № 4. PP. 311-318.

*Николай Александрович Базаев,
канд. техн. наук, ст. научный сотрудник,*

*Игорь Олегович Бизюков,
студент,*

*Наталья Ивановна Дорофеева,
студент,*

*Борис Михайлович Путьра,
аспирант,*

кафедра биомедицинских систем,

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»,
г. Москва, г. Зеленоград,*

e-mail: bazaev-na@yandex.ru

С.С. Харченко, Р.В. Мещеряков, Д.А. Вольф, Л.Н. Балацкая, Е.Л. Чойнзонов

Программный комплекс речевой реабилитации онкологических больных после резекции гортани

Аннотация

В статье рассматривается разработанный программный комплекс, предназначенный для использования в процессе реабилитационных тренировок у пациентов после полной или частичной потери звучной речи в результате ларингоэктомии. Представлены структура разработанного программного комплекса, алгоритм его работы, и описаны результаты функционального тестирования. Также показаны результаты первичной апробации комплекса на группе здоровых дикторов.

Введение

Одними из наиболее тяжелых последствий хирургического лечения злокачественных новообразований гортани являются полная утрата звучной речи и нарушение дыхательной функции. При этом остро возникает проблема речевого общения пациентов наиболее трудоспособного возраста – от 40 до 60 лет, осложняя и ограничивая их возможности в социальном, трудовом и профессиональном планах. В связи с этим восстановление голосовой функции – одно из приоритетных направлений реабилитации больных. Существует три метода восстановления голосовой функции больных, перенесших ларингоэктомию: логопедический – формирование нового фонационного органа в первом физиологическом сужении пищевода, трахеопищеводное шунтирование с установкой голосовых протезов и использование голосовых аппаратов [1].

По мнению многих авторов [2]-[4], основным методом восстановления речи у больных после полного удаления гортани считается логопедический – формирование псевдоголоса. Эта методика является наиболее физиологичной и потому наиболее распространенной. При такой речи структура, имитирующая работу гортани, образуется в области первого физиоло-

гического сужения пищевода. Формирование пищеводной речи основывается на использовании выработанных в процессе жизни артикуляционных рефлексов речи взрослого человека и компенсаторных возможностей организма [5].

Совершенно оправданным является стремление ученых на современном уровне и на стыке смежных дисциплин комплексно решать проблему улучшения качества жизни онкологических больных, которое во многом зависит от того, насколько успешно прошел процесс голосовой реабилитации [6]. Использование программных средств на основе биологической обратной связи позволяет повысить эффективность голосовой реабилитации и сократить сроки до 3...4 недель в сравнении с традиционной методикой, занимающей 2...4 месяца [7].

Реабилитация пациента наряду с работой психолога и логопеда включает в себя три упражнения для увеличения:

- силы звука;
- длительности фонаций;
- тембра голоса.

Целью настоящей работы является ускорение реабилитационных процессов за счет автоматизации процедуры реабилитации. Автоматизация каждого из упражнений решается как отдельная задача.

Для решения поставленных задач разработан программный комплекс, в состав которого входит подсистема оценки параметров голоса, задачами которой являются:

- измерение уровня звукового давления;
- измерение длительности фонаций;
- измерение частоты основного тона речевого сигнала.

Материалы и методы

Программный комплекс речевой реабилитации спроектирован и разработан в соответствии с современными паттернами программирования. На каждом из этапов используются методы, основанные на биологической обратной связи (БОС) [8]. Это означает, что при достижении определенных результатов, которые заранее определяются оператором (логопедом), в процессе реабилитации выдается положительное подкрепление посредством монитора (рис. 1), которое сопровождается звуковым сигналом.

Разработанный программный комплекс состоит из семи модулей, каждый из которых представляет собой черный ящик, который принимает на вход данные, обрабатывает их и возвращает обратно интерпретируемый результат:

- 1) главный модуль;
- 2) модуль обработки настроек;
- 3) модуль взаимодействия с устройствами ввода/вывода;
- 4) модуль интерфейса;
- 5) модуль расчетов;
- 6) модуль интерпретации результатов;
- 7) модуль обработки данных.

Информация о пациентах, тренировках и результаты тренировок хранятся во внешней базе данных, работа с которой может осуществляться как локально, так и удаленно. В качестве системы управления базой данных (СУБД) выбрана бесплатная кроссплатформенная система управления базой данных «PostgreSQL». Вся логика работы программного комплекса сосредоточена в главном модуле (рис. 2), который осуществляет работу с устройствами ввода-вывода (микрофоном, монитором, колонками), чтение данных с которых происходит в модуле взаимодействия с устройствами ввода-вывода. Также главный модуль осуществляет взаимодействие между остальными модулями. Решение задач, поставленных в первой части данной статьи, осуществляется непосредственно в модуле расчетов, который устроен таким образом, что добавление численных методов в будущем не составит никакой сложности. Какой из численных методов используется для решения конкретной задачи, определяется в модуле обработки настроек. После подсчетов данные из модуля расчетов поступают в главный модуль, согласуются с данными из модуля обработки настроек и, в случае выполнения заданий на тренировку, условия 1, 2 или 3 в зависимости от типа тренировки, информация о необходимости выдачи положитель-

ного подкрепления и результаты передаются в модуль интерфейса.

$$rms \geq r_o, \quad rms = 20 \lg \left(\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N U_i^2}{n}}}{U_0} \right); \quad (1)$$

$$l \geq l_o, \quad l = b \cdot k; \quad (2)$$

$$v \geq v_o, \quad v = \text{sept}(S_n), \quad (3)$$

где r_o – задание на тренировку по уровню звукового давления; n – число отсчетов в записанном семпле; U_i – напряжение на звуковой карте на i -м отсчете; U_0 – опорное напряжение; l_o – задание на тренировку по длительности фонаций; l – длительность фонаций; b – длина записываемого фрейма в секундах; k – ненулевое количество семплов, для которых выполнено условие (1); S_n – дискретный ряд речевого сигнала длины n ; sept – функция выбора частоты основного тона речи на основе сингулярного эстиматора [9].

После того как данные поступили в модуль интерфейса, результаты обрабатываются в модуле интерпретации результатов и возвращаются в модуль интерфейса в удобном для отображения формате. Если поступила информация о необходимости выдачи положительного подкрепления, то на экране монитора открывается часть картинки, которая перед началом тренировки была скрыта, а также происходит воспроизведение короткого звукового сигнала, уведомляющего пациента о том, что тренировка выполняется правильно. После окончания тренировки либо в случае манипуляций с данными о пациентах вся информация передается в модуль обработки данных, где происходит сохранение в базу данных.

Стоит отметить, что модуль расчетов устроен таким образом, что в будущем при необходимости замены каких-либо математических методов не потребуются изменения не только всего приложения, но и модуля в отдельности. Выбрать математический метод, который используется для вычисления параметров голоса, в той или иной тренировке можно, используя интерфейс приложения. Процесс реабилитации в той части, где используется разработанный программный комплекс, представляется следующим образом:

- 1-й шаг – установка общих настроек приложения;
- 2-й шаг – выбор или создание новой карточки пациента;
- 3-й шаг – установка настроек на тренировку;
- 4-й шаг – выбор типа упражнения;
- 5-й шаг – тренировка;
- 6-й шаг – сохранение результатов тренировки;
- 7-й шаг – вывод результатов тренировки.

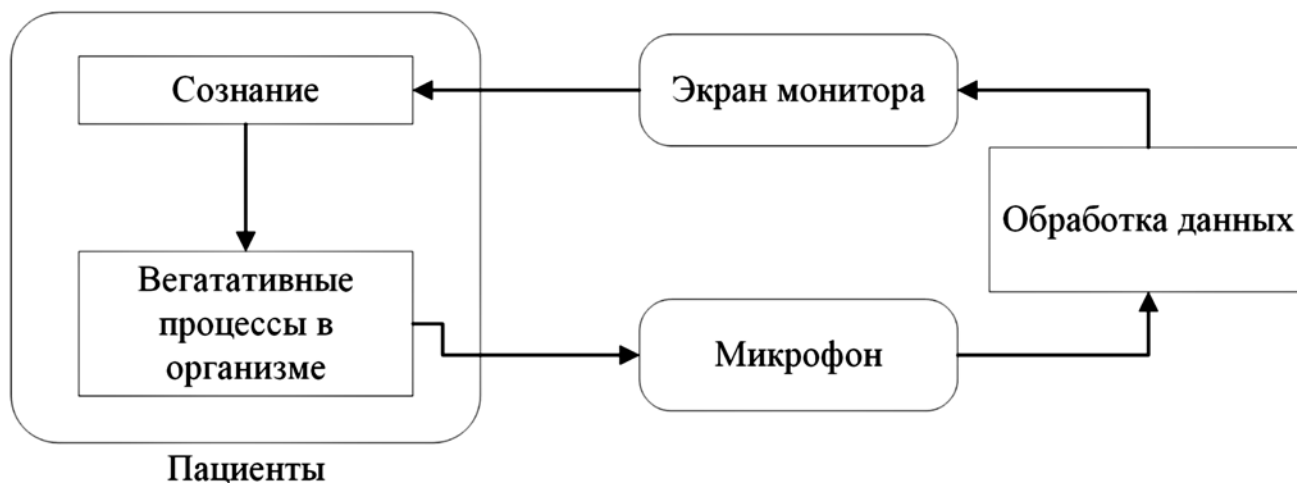


Рис. 1. Схема информационных потоков в методах, основанных на биологической обратной связи

После окончания тренировки и просмотра результатов тренировки можно продолжить с 3-го шага (рис. 3).

Тестирование системы

На начальном этапе тестирование проводилось на группе здоровых дикторов для выявления функциональных недочетов в программном комплексе. В ходе тестирования проводилось профилирование программного обеспечения с целью оптимизации программных модулей, наиболее требовательных к выделению процессорного времени и оперативной памяти. В результате было выявлено, что наиболее трудоемким, как и ожидалось, является процесс вычисления частоты основного тона на основе сингулярного эстиматора [10]. После оптимизации программного модуля с учетом особенностей языка программирования C# и фреймворка .Net 4.5 удалось снизить выделение процессорного времени на 20 %, а использование оперативной памяти на 16 %. После оптимизации на вычисление частоты основного фрейма длиной в 50 мс в среднем требовалось 20 мс, что позволило использовать разработанные функции в режиме реального времени (табл. 1). Для подтверждения адекватности результаты, полученные с помощью написанной функции на основе сингулярного метода, сравнивались с результатами, полученными для тех же сигналов в программе «Praat». При вычислении длительности фонаций ошиб-

ки в большую сторону допустимы, так как они не влияют на условие (2) и возникают по причине того, что в общем случае длительность фонации при записи не кратна длине обрабатываемого модулем расчетов семпла.

Таблица 1

Результаты тестирования функциональных возможностей функции вычисления ЧОТ

Результат в «Praat», Гц	Полученные результаты, Гц	Время вычисления, мс	Различие результатов, %
132,4	132,9	21	0,37
135,6	135,8	18	0,14
131,7	132,3	19	0,45
130,9	130,6	20	0,22
129,5	129,6	22	0,07
137,8	137,5	20	0,21
139,6	139,2	21	0,28
135,5	135	19	0,36
133	132,4	18	0,45
132,8	132,1	20	0,52

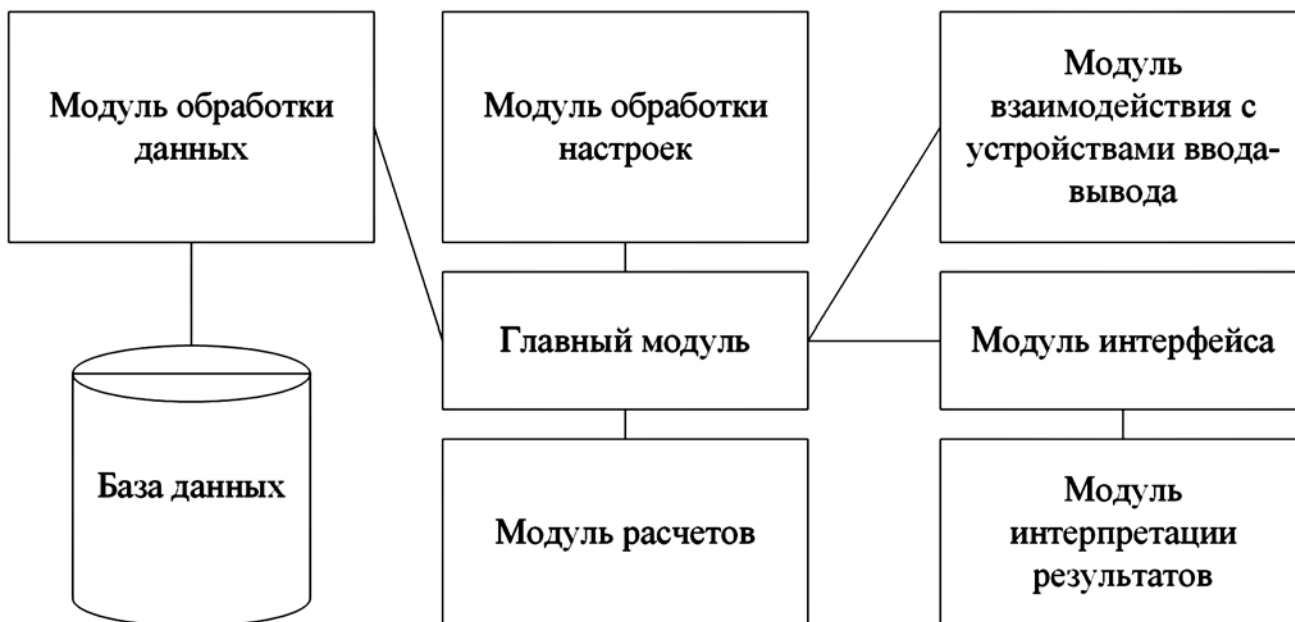


Рис. 2. Структура разработанного программного комплекса

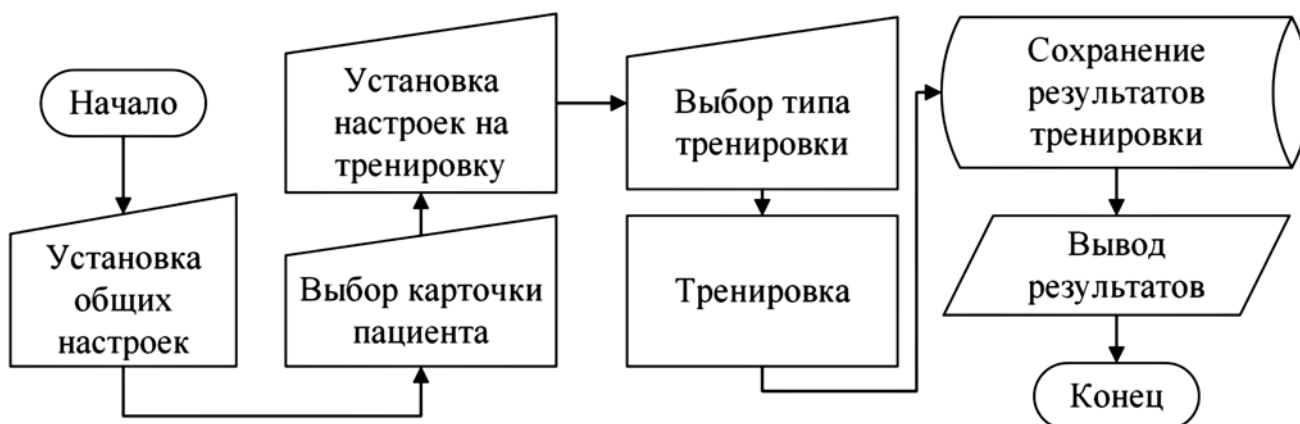


Рис. 3. Алгоритм работы с программным комплексом

Приведенные результаты получены на персональном компьютере под управлением операционной системы Windows 7, с процессором Intel Core i5-4570, вычислительная мощность данного процессора 125 Гфлопс. В результате функционального тестирования и последующих доработок рассматриваемого комплекса на группе здоровых дикторов, состоящей из 10 мужчин и женщин в возрасте от 23 до 30 лет, были получены следующие результаты:

- эргономичность интерфейса в среднем была оценена на 9 из 10 баллов;
- наблюдалось увеличение длительности фонаций на 100...350 мс;
- наблюдалось увеличение верхней границы диапазона частот на 5...20 Гц;
- выявлено и исправлено 7 необработанных исключений приложения;
- в среднем различие рассчитанной частоты и измеренной при помощи «Praat» составляло 0,3 %.

Было замечено, что после конечного числа тренировок прогресс по увеличению длительности фонаций и расширению тембра голоса замедлялся практически до нулевых показателей. С увеличением длительности тренировок результаты с определенного момента также переставали меняться (рис. 4), что говорит о возможности в будущем выработки рекомендаций по оптимальным длительности и количеству тренировок.

Также стоит отметить, что архитектура и структура позволят в будущем при необходимости портировать разработанное программное обеспечение на операционные системы семейства UNIX.

Заключение

На данный момент разработанному программному комплексу для определения частоты основного тона с погрешностью менее 1 % семпла длительностью 50 мс требуется порядка 20 мс, что позволяет осуществлять тренировки в режиме реального времени и выгодно отличает его от прямых аналогов [11], дающих сопоставимую точность с опозданием в 100 мс. Это, в свою очередь, дает все основания считать разработанное приложение актуальным. После функционального тестирования и доработки программный комплекс был установлен на компьютер в кабинете логопеда в отделении опухолей органов головы и шеи в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Томский научно-исследовательский

институт онкологии» для прохождения клинической апробации. Клиническая апробация будет проводиться на группе больных после полной или частичной утраты звуковой речи. После клинической апробации последует доработка функциональных возможностей и изменение эргономики программного комплекса с учетом пожеланий логопедов и пациентов, вошедших в контрольную группу. Заключительным этапом будет внедрение разработанного программного комплекса в Томский НИИ онкологии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ГУСЦР на 2015 год (проект № 3657).

Список литературы:

1. Балацкая Л.Н. Речевая реабилитация и качество жизни после лечения больных опухолями головы и шеи / Дис. на соиск. уч. степ. д-ра биол. наук, физиология 03.00.13/онкология 14.00.14. – Томск: Научно-исследовательский институт онкологии Томского научного центра, 2001. 269 с.
2. Dietz J.H. Adaptive rehabilitation in cancer. A program to improve quality of survival // *Postgrad. Med.* 1980. Vol. 68. PP. 145-163.
3. Hirano M. Recent advances in rehabilitation of head and neck cancer patients // *Otorhinolaryngol.* 1990. Apr. 17 (4 Pt 2). PP. 795-801.
4. Brodnitz F.S. Psychological considerations in vocal rehabilitation // *J. Speech Hear. Disord.* 1981. PP. 21-26.
5. Бондаренко В.П., Чойнзонов Е.Ц., Балацкая Л.Н., Чижевская С.Ю., Конев А.А., Мецзяков Р.В. Медико-технический комплекс для исследования речевого сигнала при нарушениях голосообразования // *Медицинская техника.* 2007. № 4. С. 11-13.
6. Бондаренко В.П., Чойнзонов Е.Ц., Балацкая Л.Н., Чижевская С.Ю., Конев А.А., Мецзяков Р.В. Программные средства комплекса исследования речевого сигнала при злокачественных заболеваниях гортани // *Медицинская техника.* 2009. № 4. С. 33-38.
7. Корнилов А.Ю. Программа для тренировки пищеводной речи, сформированной у онкологических больных после полного удаления гортани / *Материалы международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления».* Часть 2. – Издательство института оптики атмосферы СО РАН, 2004. С. 24-26.

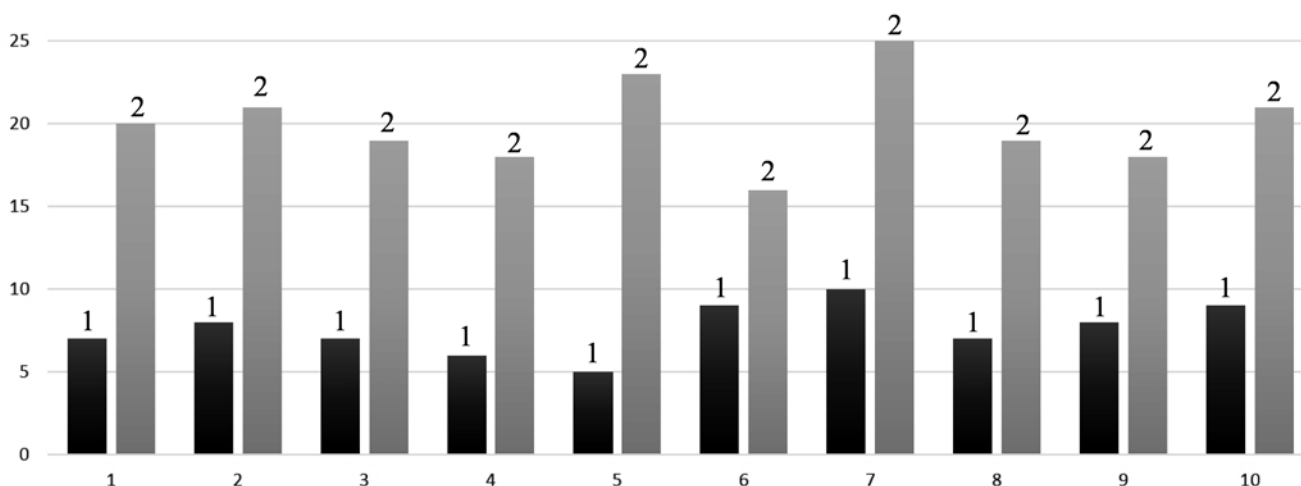


Рис. 4. Оптимальное количество и длительность тренировок пациентов контрольной группы:
1 – количество тренировок, ед.; 2 – длительность тренировки, мин

8. Балацкая Л.Н., Харченко С.С. Биологическая обратная связь в процессе голосовой реабилитации после удаления гортани / Материалы докладов X Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления». 2014. Ч. 2. С. 10-12.
9. Вольф Д.А. Выделение частоты основного тона речи методом сингулярного спектрального анализа // Системы управления и информационные технологии. 2014. № 2.1 (56). С. 114-120.
10. Вольф Д.А. Программная реализация подсистемы быстрого сингулярного спектрального анализа речи // Системы управления и информационные технологии. 2013. № 4 (54). С. 81-86.
11. Корнилов А.Ю. Управление процессом речевой реабилитации с использованием биологической обратной связи / Дис. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук, системный анализ, управление и обработка информации 05.13.01. –Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2005. 139 с.

Сергей Сергеевич Харченко,
 аспирант,
 Роман Валерьевич Мецержаков,
 д-р техн. наук, профессор,
 Данияр Александрович Вольф,
 аспирант,
 Томский государственный институт
 систем управления и радиоэлектроники,
 Лидия Николаевна Балацкая,
 д-р биолог. наук, ведущий научный сотрудник,
 Томский НИИ онкологии,
 Евгений Лхамцыренович Чойзонзов,
 д-р мед. наук, профессор,
 Томский НИИ онкологии,
 академик РАН,
 г. Томск,
 e-mail: ss.kharchenko@gmail.com

**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 2016 год.
 Стоимость годовой подписки (12 экз.) – 12000 руб.

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

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