

Ю. И. СЕНКЕВИЧ

## АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕДИЦИНСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В ПОЛЯРНЫХ ЗОНАХ

Рассматривается круг задач, связанных с автоматизацией деятельности врачей, работающих в экстремальных условиях полярных зон. Приведены требования к медицинской электронной аппаратуре, используемой в ходе арктических и антарктических экспедиций. Описаны методы и решения, примененные в разработках аппаратного и программного обеспечения автоматизированного рабочего места полярного врача. Результаты исследований внедрены в медицинской информационной системе обеспечения полярных экспедиций.

**Ключевые слова:** телемедицинская система, автоматизированное рабочее место, дистанционный мониторинг.

**Введение.** Существующая проблема охраны здоровья людей, работающих в полярных зонах, непосредственно связана с практическими трудностями размещения в этих зонах многопрофильных лечебно-профилактических учреждений и сложностью оказания высококвалифицированной медицинской помощи. С расширением сети средств коммуникации (в первую очередь, космической связи) и развитием прикладной информатики появилась возможность эффективно решать задачи удаленного медицинского наблюдения и диагностики с помощью средств телемедицины [1]. Однако большинство известных методов дистанционной диагностики и консультирования не могут быть напрямую использованы в зонах Арктики и Антарктики. В связи с этим требовался поиск новых технических решений, разработка специализированных медицинских приборов и технологий, а также методов их применения. Научно-технические работы в этом направлении проводились с 1998 по 2006 гг. в Арктическом и антарктическом НИИ (Санкт-Петербург). Главная цель исследований — поиск путей автоматизации средств и методов полярной телемедицины.

**Методика исследований.** На начальном этапе были изучены условия функционирования электронных приборов на полярных станциях и выявлены особенности их эксплуатации. Была проведена оценка достижений мировой практики создания медицинских информационных систем для эксплуатации в экстремальных условиях. Анализ изученной информации не выявил готовых решений по реализации электронных измерительных приборов, способных, без их принципиальной доработки, функционировать в полярных зонах. Однако были найдены решения, послужившие аналогами для разработки впоследствии автоматизированного рабочего места полярного врача [2—4]. В частности, был использован опыт формирования пакетов сообщений для обмена информацией в низкоскоростных каналах спутниковой связи. Для сокращения объемов информации при обмене данными в цепи абонент (клиент) — эксперт (сервер) был применен метод шаблонов [5]. Результаты обобщения известного опыта разработок медицинских информационных систем дали возможность сконструировать экспериментальную базу дальнейших исследований, направленных на формирование структуры телемедицинской системы.

Для снижения объемов передаваемой информации использовался распределенный подход к ее обработке и оцениванию, сущность которого заключается в выполнении большинства рутинных операций (в частности, по первичной обработке клинических данных и предварительному анализу полученных результатов) непосредственно абонентом — врачом полярной станции. Таким образом, отправке в центр обработки информации подлежат уже промежуточные данные, объем которых в несколько раз меньше объема исходных данных.

Использование микропроцессорной техники на аппаратном уровне позволяет осуществлять медицинские наблюдения в реальном масштабе времени, так как все операции по оцифровке и фильтрации электрофизиологического сигнала выполняются непосредственно аппаратной частью, а в компьютер передаются уже готовые к анализу данные.

Испытания экспериментальных приборов и программ проводились в реальных условиях амбулаторий полярных станций. В процессе опытной эксплуатации удалось довести созданный стенд до действующего образца телемедицинской системы.

**Эксперимент.** На основе анализа реальных условий эксплуатации медицинской электронной аппаратуры на полярных станциях были сформулированы требования, которые необходимо учитывать при разработке медицинской электроники. Основные требования таковы:

— повышенная электробезопасность и защита пациентов от пробоев электропитания, что связано с отсутствием на полярных станциях физического заземления;

— повышенная помехоустойчивость, что обусловлено наличием в зонах геомагнитных вихрей, ионной активностью в атмосфере, сильными помехами в цепях электропитания нестабильных электрогенераторов;

— повышенная устойчивость к статическому электричеству, что необходимо вследствие постоянного низового скольжения снежных зарядов по поверхности ледников, несущего высоковольтный статический заряд;

— повышенная прочность, вибрационная устойчивость и износостойкость приборов, что связано с их эксплуатацией при санно-гусеничных походах, в недостаточно приспособленных помещениях амбулаторий полярных станций и на выездах в экстренных случаях неотложной помощи;

— высокая эксплуатационная надежность — вследствие отсутствия на полярных станциях специализированных ремонтных предприятий, резервных приборов и материалов, профильных специалистов;

— компактность и низкое энергопотребление, что обусловлено ограниченным объемом рабочих помещений и необходимостью использования приборов в экстремальных условиях работы передвижных амбулаторий.

На следующем этапе были разработаны и изготовлены удовлетворяющие перечисленным требованиям экспериментальные медицинские электронные приборы для проведения исследований на объектах российской антарктической экспедиции. Отличительная конструктивная особенность этой аппаратуры — унифицированный способ сопряжения приборов с персональным компьютером через последовательные порты ввода/вывода. Для этого был разработан специальный интерфейс, программная часть которого содержит функции управления с использованием внешних ключей и предоставляется в виде динамической библиотеки. Такое решение обеспечивает возможность независимого перепрограммирования часто изменяемых в ходе испытаний функций обработки данных и придает гибкость экспериментальным стендам. Схема универсального аппаратного интерфейса, созданного на основе типовой схемы с использованием перепрограммируемых микропроцессоров, представлена на рис. 1, где *a* — воспринимающее устройство (диагностическое оборудование), *б* — воздействующее устройство (терапевтическая аппаратура).

Конструктивно приборы размещены в прочном металлическом корпусе с жестким креплением вводящих и выводящих сигнальных и питающих экранированных кабелей. В схеме воспринимающих устройств входные усилители обеспечивают необходимое усиление слабых гальванических сигналов с кожных покровов тела человека. Определенным образом построенное межканальное соединение позволяет подавлять синфазные составляющие входных потенциалов. Установленные на входе усилителей защитные цепочки предохраняют устройство от возможного попадания высоковольтных импульсов статического электричества. На выходе входных усилителей установлены дополнительные развязывающие усилители, обеспечивающие

защиту входных цепей мультиплексора. Синхронизированный с мультиплексором процессор осуществляет полосовую фильтрацию сигнала, режекторное подавление сетевых наводок незаземленных измерительных приборов и преобразование цифрового сигнала для передачи в последовательных линиях связи. Были испытаны несколько модификаций цепей гальванической развязки, включая использование в качестве таковой инфракрасного приемопередающего канала.

а)



б)



Рис. 1

В общей сложности для испытаний в антарктических экспедициях были подготовлены опытные образцы таких медицинских приборов, как одно- и четырехканальный компьютерный электрокардиограф, одноканальный электроэнцефалограф, рефлексотерапевтический измеритель предельной тепловой чувствительности, измеритель систолического и диастолического кровяного давления, измеритель температуры тела. Для работы с каждым из базовых медицинских приборов были написаны соответствующие компьютерные приложения с унифицированным аппаратным и программным интерфейсом.

Научные исследования и анализ результатов практических измерений, осуществленные в период с 1998 по 2001 гг., показали, что эпизодических измерений, производимых врачами на полярных станциях, явно недостаточно для формирования целостной картины влияния климатических и геофизических факторов на состояние здоровья участников длительных зимовок: необходимы регулярные наблюдения с малым периодом между смежными измерениями. Таким образом, стала очевидной необходимость интеграции и автоматизации массовых медицинских обследований. Для решения этой задачи было использовано свойство распараллеливания функций измерений в многозадачном режиме работы приложений. При этом выбор одновременно подключаемых приборов и программ осуществляется врачом в зависимости от диагностической цели обследования пациента.

На основе синтеза подготовленных программных модулей и аппаратных решений в единую систему на следующем этапе исследований было создано автоматизированное рабочее место (АРМ) полярного врача "Ambulance YS701" [6].

Структурная схема АРМ "Ambulance YS701" представлена на рис. 2. Экспериментальный стенд имеет единую базу данных. Наличие единой системы ведения электронной документации обеспечивает возможность регистрации результатов обработки и анализа каждого из подключаемых программных модулей. Кроме того, выполняется программа статистиче-

ской и спектральной обработки электрофизиологической информации с применением средств электрофизиологического наблюдения и рефлексотерапевтической диагностики. Принципиально новыми дополнениями диагностического оборудования являются программа терапевтической коррекции функционального состояния пациента с использованием метода биологической обратной связи и программа поддержки отложенных телемедицинских консультаций.



Рис. 2

Для гибкого подключения новых приложений и замены существующих был создан специальный программный интерфейс с возможностью сохранения параметров и конфигурации в отдельном файле. Комплект программ внешних приложений [7] подключается к АРМ через этот специальный программный интерфейс. Недостающие физические последовательные СОМ-порты подключаются через дополнительный контроллер.

Использование АРМ на полярных станциях позволяет проводить массовые обследования участников экспедиций, выполнять расчеты показателей эксплуатационной надежности электронной аппаратуры, проверять ее устойчивость к влиянию специфических климатических, гео- и космофизических факторов; также была произведена оценка работоспособности и эксплуатационной пригодности разработанного программного обеспечения и апробированы возможности АРМ по сбору, обработке и передаче информации в целях организации автоматизированного документооборота.

**Результаты исследований.** Проведенные работы по информатизации медицинского обеспечения антарктических экспедиций позволили решить технические проблемы разработки аппаратного и программного инструментария полярного врача.

Специфика размещения арктических и антарктических станций связана с их крайней удаленностью от материка и автономностью многомесячного пребывания участников

экспедиции. Поэтому работа врача полярной станции имеет особые свойства — он должен принимать решения любой сложности самостоятельно. С внедрением (с 1998 г.) в российской антарктической экспедиции спутниковой системы связи стала возможной организация удаленных врачебных консультаций с ведущими профильными медицинскими учреждениями Санкт-Петербурга. Помимо этого, для организации удаленных исследований и профилактического контроля здоровья полярников появилась потенциальная возможность регулярно осуществлять на станциях автоматизированный мониторинг функционального состояния всех участников экспедиции. Условием внедрения современных информационных технологий стало наличие развитых средств подготовки информации и методов обмена сообщениями в сети спутниковой радиосвязи. Поэтому начиная с 2000 г. в ходе сезонных операций, выполняемых российской антарктической экспедицией, проводились исследования возможностей использования космических средств связи в целях информатизации медицинской службы: к 2003 г. все российские антарктические станции были оборудованы средствами спутниковой и цифровой коротковолновой связи.

В результате проведенных исследований и экспериментов задача автоматизации телемедицинских наблюдений в Антарктике была успешно выполнена. В настоящее время научные результаты исследований внедрены в телемедицинской системе, объединившей в себе представленные выше принципы и технологию разработки автоматизированного рабочего места врача для амбулаторий российских антарктических станций.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полонников Р. И., Юсупов Р. М. Телемедицина — становление, развитие и проблемы // Телемедицина — становление и развитие: Сб. СПб.: СПИИРАН, 2000. С.15—46.
2. Pavlopoulos S., Kyriacou E., Berler A. et al. A novel emergency telemedicine system based on wireless communication technology—Ambulance // IEEE Trans. Inform. Technol. Biomed. 1998. Vol. 2. P. 261—267.
3. Perednia D. A., Allen A. Telemedicine technology and clinical applications // JAMA. 1995. Vol. 273(6) P. 483—8.
4. Дюк В., Эммануэль В. Информационные технологии в медико-биологических исследованиях. СПб.: Питер, 2003.
5. Эльянов М. М. Медицинские информационные технологии: Каталог. М.: Третья медицина, 2002. Вып. 3.
6. Сенкевич Ю. И. Автоматизированное рабочее место полярного врача // Патент на полезную модель России, № 65363. М.: РОСПАТЕНТ, 2007.
7. Компьютерные учебные программы и инновации. 2007. № 8—9 [Электронный ресурс]: <[http://www.informika.ru/text/magaz/innovat/n8\\_2007/n8\\_2007.html](http://www.informika.ru/text/magaz/innovat/n8_2007/n8_2007.html)>.

#### *Сведения об авторе*

**Юрий Игоревич Сенкевич** — д-р техн. наук; Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, лаборатория биомедицинской информатики;  
E-mail: senkevich@spiiiras.nw.ru

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию  
31.05.07 г.