

УДК 004.42/.67+616-71

## **Программно-алгоритмическое обеспечение модулей интегрированного медицинского приборного комплекса**

Д.А.Загребин

### **Аннотация**

Разработано программно-алгоритмическое обеспечение для следующих модулей интегрированного медицинского приборного комплекса: доплеровского ультразвукового измерителя скорости кровотока, электроэнцефалографа, электрокардиографа, пульсоксиметра, капнографа, модулей измерения инвазивного и неинвазивного давления. Исследованы возможности и определены преимущества интегрирования и комплексирования информации в таких комплексах.

### **Ключевые слова**

медицинский измерительно-вычислительный комплекс; электроэнцефалограф; электрокардиограф; пульсоксиметр; капнограф; тонометр; инвазивный измеритель давления; доплеровский ультразвуковой измеритель скорости кровотока; комплексирование информации; диагностика ишемии головного мозга.

### **Введение**

Несмотря на постоянное совершенствование технических систем пилотируемых летательных аппаратов, одним из самых узких мест в безопасности полета остается человеческий фактор [1, 2]. В первую очередь это относится к пилотам (особенно) и авиадиспетчерам.

В профессии пилота присутствует ряд неблагоприятных факторов [3], таких как пониженное атмосферное давление, пониженное парциальное давление кислорода во вдыхаемом воздухе, шум, вибрация, болтанка самолета, ускорение при выполнении различных маневров, наличие токсических веществ в воздухе пилотской кабины,

непостоянность рельефа местности и климатогеографических зон, частая смена часовых поясов.

Эти факторы, а также постоянный стресс в сложных условиях работы, преобладание умственного труда над физическим, гипокинезия и гиподинамия вызывают у пилотов и авиадиспетчеров повышение частоты сердечных сокращений и артериального давления, повышают риск развития психосоматических болезней (таких как гипертоническая болезнь и атеросклероз, нарушения ритма сердца, ишемия головного мозга).

Как следствие, старение у пилотов и авиадиспетчеров наступает преждевременно (на 10–25 лет раньше появляются болезни сердечно-сосудистой системы). Это является основной причиной отстранения пилотов от летной работы.

В частности [3], 80 % всех пилотов, отстраненных от летной работы в 1995–2001 гг. имели ишемическую болезнь сердца, гипертоническую болезнь и атеросклероз. 60–80 случаев острых отказов здоровья у лиц летного состава наблюдаются ежегодно, причем 30 % из них составляют инфаркт миокарда, 20 % — стенокардия и 3 % — нарушение мозгового кровообращения.

Такие проявления раннего атеросклероза и ишемической болезни сердца и мозга, злокачественных новообразований, артериальной гипертензии требуют проведения своевременной и достоверной диагностики сердечно-сосудистой системы и в первую очередь оценки кровоснабжения головного мозга у авиадиспетчеров и пилотов.

Соответствующее предполетное обследование пилотов (включающее не только проверку пульса и давления), не должно занимать много времени и требовать постоянного участия высококвалифицированного медицинского персонала.

Для выполнения такой экспресс-диагностики требуется разработка соответствующих программно-аппаратных средств, включающих в себя диагностические методы для оценки кровоснабжения головного мозга и сердечно-сосудистой системы в целом, и базирующихся на них комплексов, обеспечивающих интегрированную оценку физиологического состояния пилота и комплексирование результатов измерений [4].

Еще одним требованием, предъявляемым к таким комплексам, является низкая цена. Поэтому медицинский приборный комплекс не должен включать компьютерную томографию, магнитно-резонансную томографию и подобные методы, часто применяемые для оценки состояния головного мозга, вследствие высокой цены оборудования, обслуживания и больших габаритных размеров.

Разработке программно-алгоритмического обеспечения такого медицинского комплекса и посвящена статья.

## **Интегрированные медицинские приборные комплексы для оценки кровоснабжения головного мозга**

Основным методом для оценки кровоснабжения головного мозга является транскраниальный ультразвуковой доплеровский измеритель скорости кровотока [5]. Этот прибор позволяет изучать гемодинамику кровотока по основным артериям головного мозга.

Другим прибором, имеющем не меньшую диагностическую ценность, является электроэнцефалограф [6]. Хотя он и не позволяет напрямую оценить скорость кровотока, но позволяет косвенно оценить кровоснабжение мозга и его общее функциональное состояние. Применяемые при этой методике электродные шапочки позволяют проводить обследование за небольшой промежуток времени.

В качестве дополнительных методов для оценки сердечно-сосудистой системы могут использоваться измеритель неинвазивного давления (тонометр), электрокардиограф и пульсоксиметр, для оценки легких может использоваться капнограф.

Все эти приборы существуют по отдельности, но использовать их в таком виде будет слишком долго (для каждого прибора своя программа или свой способ выдачи результатов), дорого и неэффективно — результаты измерения не могут быть автоматически обработаны совместно.

Следует отметить, что частично некоторые из перечисленных выше приборов интегрированы. Так большинство электроэнцефалографов имеют встроенный канал электрокардиографа (например, некоторые электроэнцефалографы производства «НПФ БИОЛА»). ООО «НПКФ Медиком МТД» в своих электроэнцефалографах помимо каналов электрокардиографа имеет канал для оценки параметров дыхания (капнограммы). Фирмы «Нейрософт» и «MBN» пошли дальше и интегрировали вместе электроэнцефалограф, электрокардиограф, капнограф и пульсоксиметр. Некоторые фирмы выпускают прикроватные мониторы, в которые входят электрокардиограф, капнограф, пульсоксиметр, тонометр, датчик температуры, а иногда (например, в медицинских комплексах Nihon Kohden) и BIS монитор, который только регистрирует электроэнцефалограмму и вычисляет параметры для оценки глубины наркоза и не может применяться для исследования кровоснабжения головного мозга.

Доплеровские ультразвуковые измерители скорости кровотока, как правило, редко интегрируются в комплексы и чаще всего используются индивидуально (даже у таких признанных компаний как DWL), что не позволяет осуществлять комплексирование

информации и оценивать параметры гемодинамики совместно с другими физиологическими параметрами.

Стоит выделить фирму NICOLET BIOMEDICAL, которая выпускает комплексы с ультразвуковым измерителем скорости кровотока, пульсоксиметром и несколькими неинвазивными измерителями артериального давления.

Однако, все перечисленные фирмы не имеют комплексов, которые бы интегрировали две главные методики, позволяющие провести наиболее полное исследование кровоснабжения головного мозга — доплеровского ультразвукового измерителя скорости кровотока и электроэнцефалографа.

В статье предлагается программно-алгоритмическое обеспечение, позволяющее объединить в одном комплексе эти две основные методики.

#### **Медицинский измерительно-вычислительный комплекс «Ангиодин-Универсал»**

Предлагаемое программно-алгоритмическое обеспечение предназначено для медицинского измерительно-вычислительного комплекса «Ангиодин-Универсал». Он способен решать задачи экспресс диагностики состояния пилотов и разрабатывается «НПФ БИОСС» (г. Зеленоград). Этот комплекс представлен на рис. 1.



Рис. 1. Медицинский комплекс «Ангиодин-Универсал» производства фирмы «НПФ БИОСС»

Измерительно-вычислительный комплекс фирмы «НПФ БИОСС» конструктивно представляет собой моноблок, в который входят компьютер типа миниПК, сенсорный монитор, блок питания и семь различных приборов. Кроме того, в состав «Ангиодин-Универсал» включены семь приборов: доплеровский ультразвуковой измеритель скорости кровотока (2-х канальный, производство «НПФ БИОСС»), электроэнцефалограф (10 канальный, NS410A, производство фирмы «НПФ БИОЛА»), электрокардиограф (12 стандартных отведений, OEM EMI12 фирмы Corscience), неинвазивный измеритель артериального давления (OEM NIBP Advantage A+ фирмы SunTech), капнограф (OEM MediCO2 фирмы Oridion), пульсоксиметр (OEM MS-2011 фирмы Masimo) и инвазивный измеритель давления (фирмы ООО «БИОСОФТ-М»).

Состав комплекса может меняться в зависимости от задач, для которых он используется. Например, инвазивный измеритель давления может применяться только в условиях операционной, а остальные модули --- в любых условиях, в том числе в задаче экспресс диагностики состояния летчика. Габариты и вес комплекса позволяют легко его перемещать и использовать даже в полевых условиях.

Доплеровский ультразвуковой измеритель скорости кровотока подключен напрямую через интерфейс USB Hi-Speed к миниПК. Остальные приборы имеют интерфейс UART и подключены к специально разработанному фирмой ООО «БИОСОФТ-М» концентратору Unimod. Концентратор используется для управления, объединения и синхронизации всех модулей. Он подключается к миниПК по интерфейсу USB HID и передает в едином потоке данные со всех подключенных приборов.

Для использования всех возможностей подобного комплекса требуется разработать соответствующее программно-алгоритмическое обеспечение.

#### **Постановка задачи разработки программно-алгоритмического обеспечения**

Требуется разработать программно-алгоритмическое обеспечение для следующих модулей комплекса: электроэнцефалографа, электрокардиографа, пульсоксиметра, капнографа, модуля неинвазивного измерения артериального давления и модуля инвазивного измерения давления.

Оно должно быть интегрировано в единую систему мониторинга Unimonex, уже включающую программное обеспечение доплеровского ультразвукового измерителя скорости кровотока и подключенную к медицинской базе данных WinPatientExpert [7].

Программное обеспечение каждого модуля состоит из двух частей: приборной и прикладной. Приборные части программных модулей должны реализовывать все операции,

осуществляемые комплексом с соответствующей аппаратурой. Прикладные части должны осуществлять отображение данных пользователю, их обработку и запись.

Кроме того, программные модули должны осуществлять синхронизированную регистрацию и отображение физиологических параметров длительностью до 24 часов. Для каждой методики необходимо разработать как соответствующее окно методики с отображением кривых и трендов, так и произвести интеграцию сигналов и трендов в общем окне.

Программное обеспечение разработано в интегрированной среде Microsoft Visual Studio на языке C++.

### Общий экран сигналов и трендов

Предлагаемое программно-алгоритмическое обеспечение позволяет осуществлять синхронизированную запись и отображение физиологических параметров модулей комплекса длительностью до 24 часов, отображать как нативные кривые, так и строить многочасовые тренды.

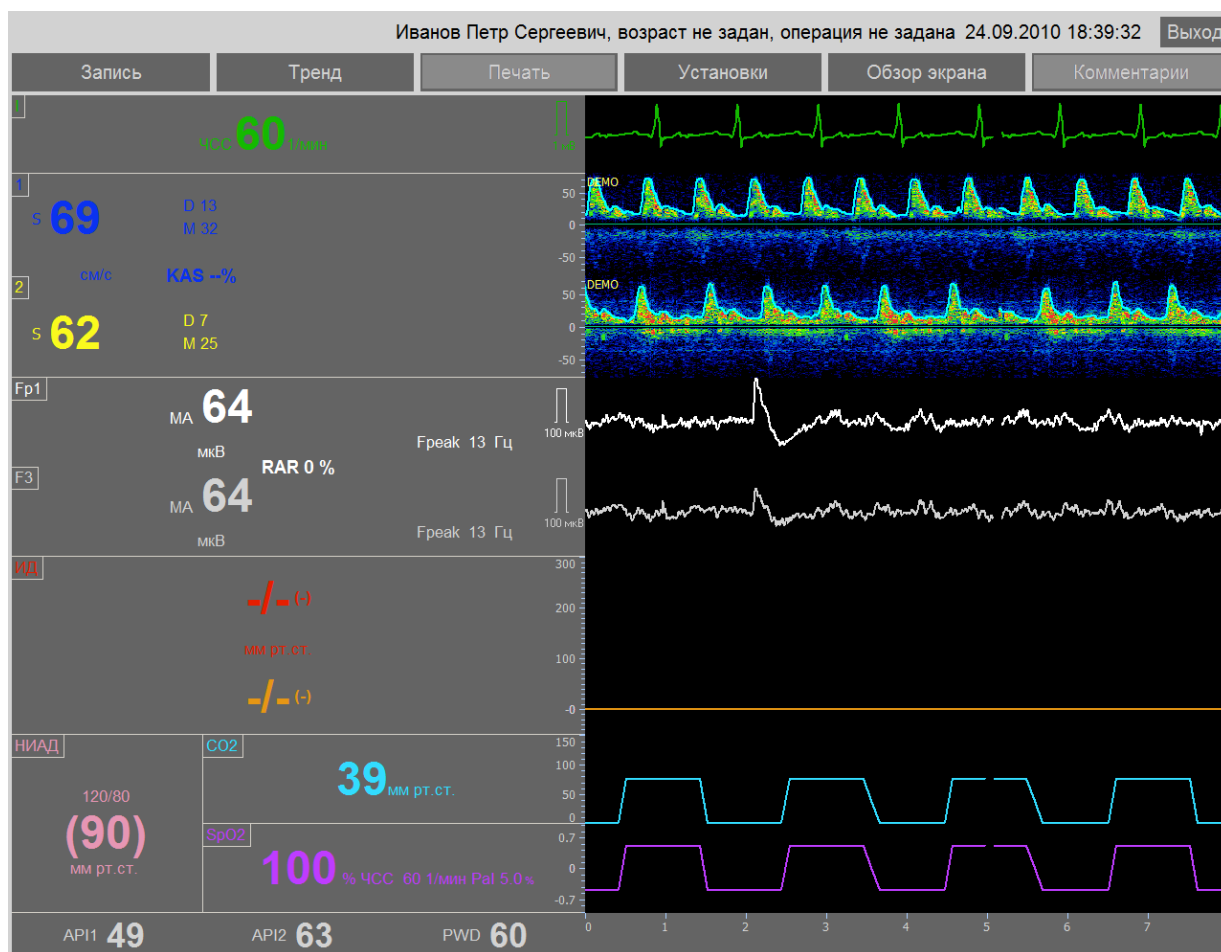


Рис. 2. Пример окна с сигналами всех используемых в комплексе методик

На рис. 2 представлен пример окна мониторинговой программы Unimonex в режиме отображения сигналов. Здесь отображаются капнограмма, плетизмограмма, доплеровский спектр по одному или двум каналам, электрокардиограмма по одному отведению, электроэнцефалограмма по 2–6 каналам. Слева от каждого графика в окна выводятся соответствующие индексы (как полученные с приборов, так и расчетные параметры, характеризующие физиологическое состояние человека).

При нажатии на кнопку «Тренды» вместо сигналов в общем окне отображаются тренды для каждой отдельной методики. Настройка отображения кривых, индексов и трендов, а также параметры расчета и фильтрации задаются в диалоговом окне при нажатии кнопки «Настройки».

Кнопка «Обзор экрана» позволяет пользователю заморозить картинку на экране и внимательно рассмотреть все параметры и кривые. С помощью кнопки «Комментарии» можно ввести текст с описанием события, что приведет к появлению маркера с соответствующим текстом во всех методиках и окнах трендов.

Набор отображаемых методик может меняться. В случае необходимости вместо части методик могут быть выведены дополнительные каналы с электроэнцефалограммой, и пользователь может оценивать состояние пациента сразу по всем синхронизированным физиологическим параметрам.

Щелчок по окну с индексами приведет в окно данной методики, что позволит пользователю подробнее изучить данный физиологический параметр.

Для всех методик разработаны соответствующие эмуляторы, позволяющие разрабатывать и тестировать программное обеспечение при отсутствии приборов, а также осуществлять демонстрацию для пользователя.

### **Неинвазивный измеритель артериального давления**

На рис. 3 представлен пример окна модуля неинвазивного измерителя артериального давления. В правой части окна выводятся тренды по индексам артериального давления, а в левой части представлены текущие значения и кнопки управления прибором.

Данный модуль позволяет осуществлять измерение артериального давления (систолы, диастолы и среднего) в ручном и автоматическом режиме через заданный интервал времени (от 30 секунд до 60 минут) с заданным начальным давлением.

Могут быть заданы допустимые для пациента границы давления, и разработанная программа предупредит пользователя о выходе параметров за диапазон.

По результатам измерения строятся тренды изменения давления за период от 5 минут до 24 часов.

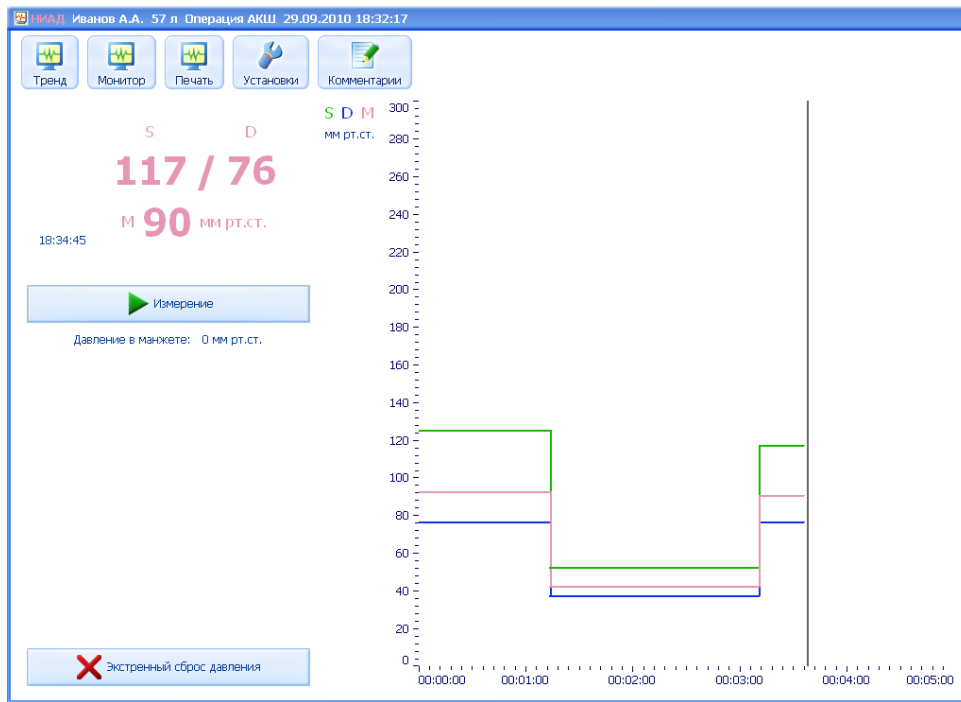


Рис. 3. Пример окна модуля неинвазивного измерителя артериального давления

### Инвазивный измеритель давления

На рис. 4 представлен пример окна модуля инвазивного измерителя давления. В поле окна выводятся измеряемые сигналы давления по двум каналам, тренды по индексам давления представлены в правой части.

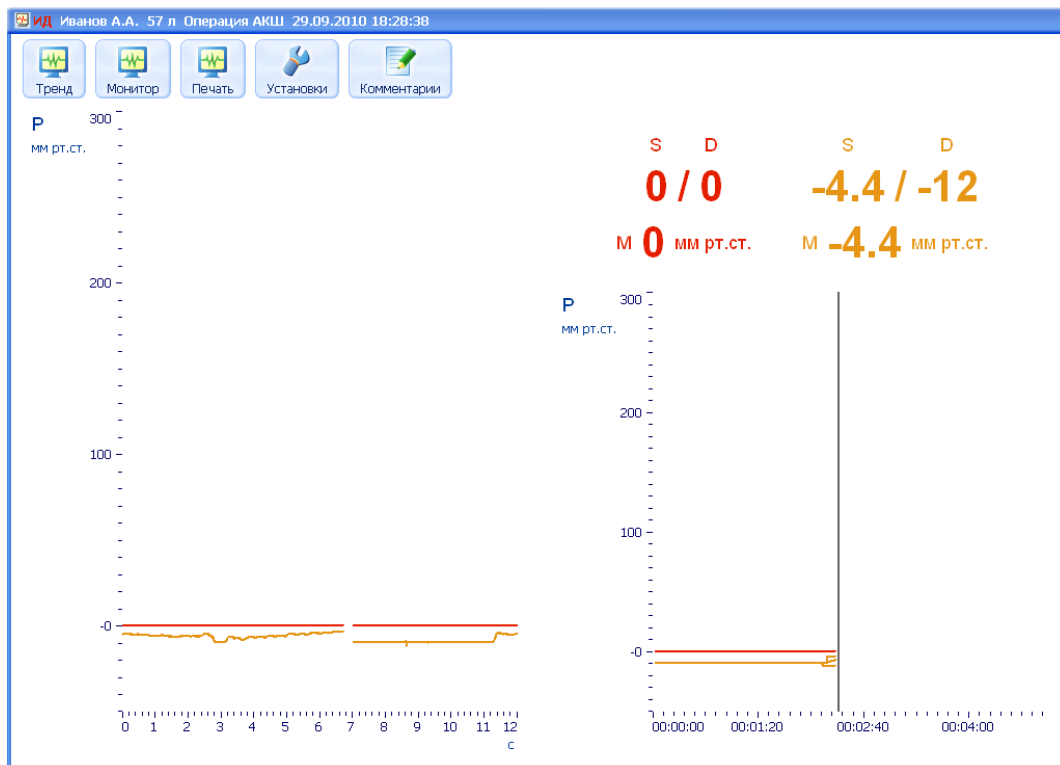


Рис. 4. Пример окна модуля инвазивного измерителя давления



Модуль позволяет регистрировать давление по двум каналам с датчиков фирмы Edwards в диапазоне от -50 до 300 мм рт. ст. По каждому каналу сохраняется и отображается кривая давления, и рассчитываются индексы — систола, диастола и среднее.

По результатам расчета строятся тренды индексов артериального давления за время от 5 минут до 24 часов.

### Капнограф

На рис. 5 представлен пример окна капнографа.

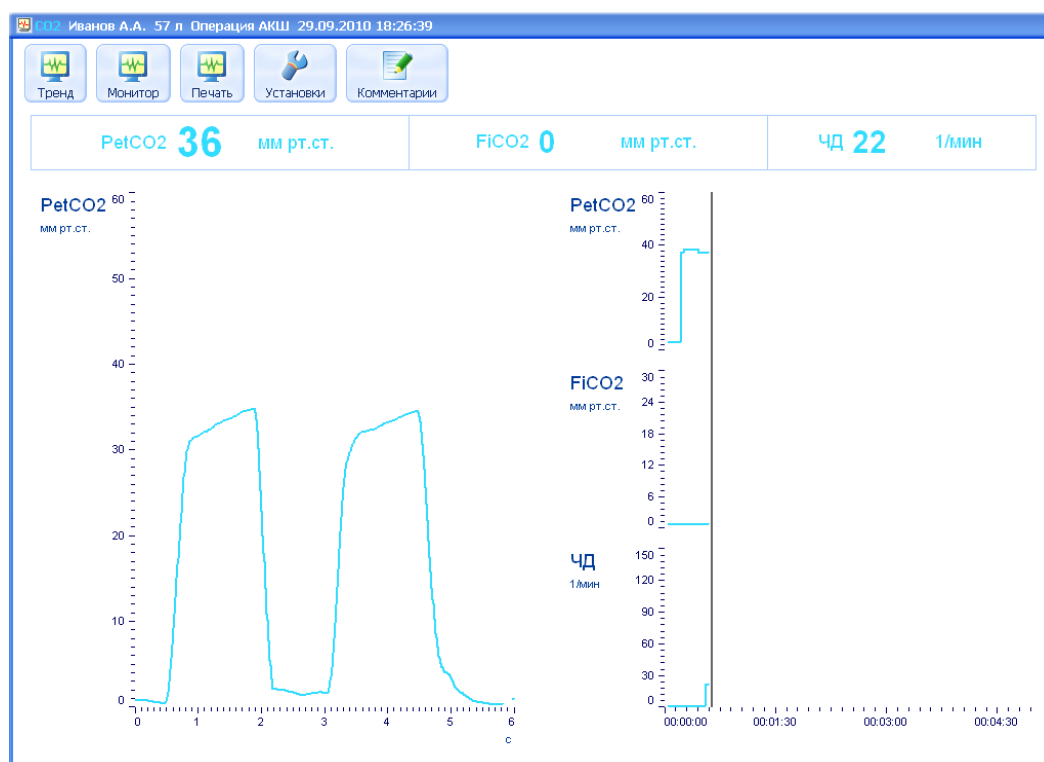


Рис. 5. Пример окна капнографа

Этот программный модуль строит график капнограммы, выводит в поле экрана индексы PetCO<sub>2</sub>, FiCO<sub>2</sub> и частоту дыхания. По индексам строятся тренды за время от 5 минут до 24 часов. Доступна смена единиц измерения с мм рт. ст. на кПа.

Для исследования параметров дыхания пользователь имеет возможность установить допустимый диапазон параметров.

### Пульсоксиметр

На рис. 6 представлен пример окна пульсоксиметра, которое имеет два основных поля: поле с плетизмограммой и поле трендов по индексам насыщения крови кислородом.

Строится плетизмограмма, рассчитываются индексы насыщения крови кислородом SpO<sub>2</sub> и PaI, а также пульс. По индексам насыщения строятся графики трендов за время от 5 минут до 24 часов. Параметр SpO<sub>2</sub> может проверяться на соответствие допустимому диапазону.

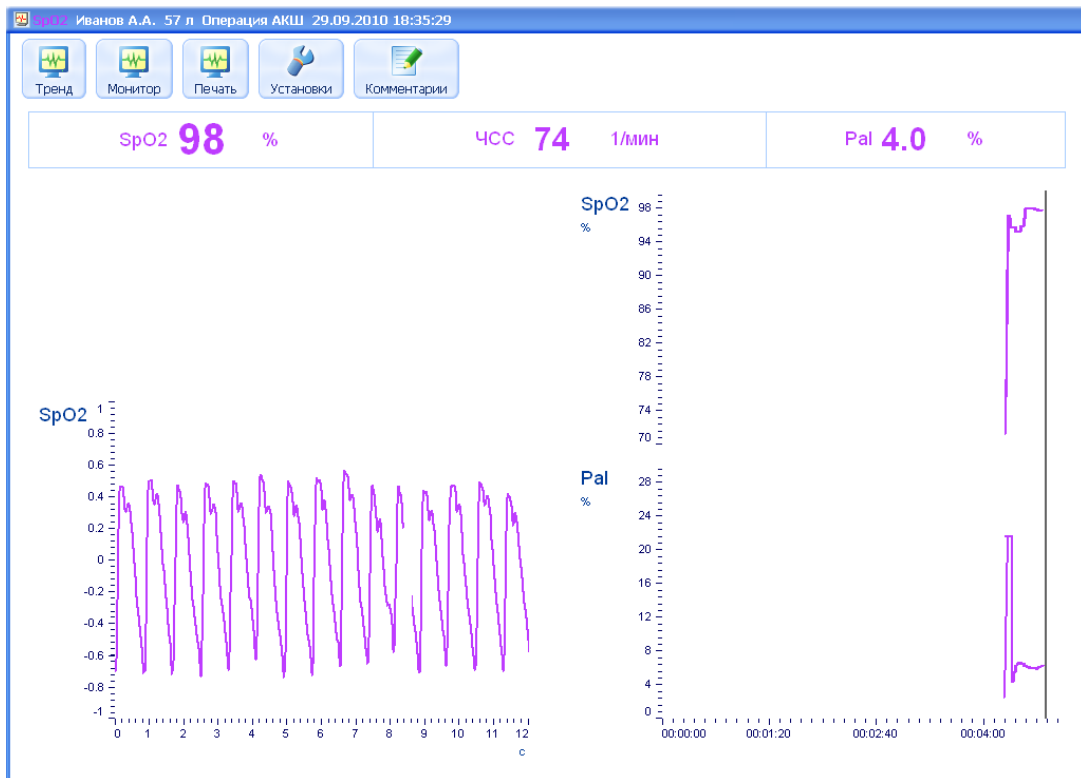


Рис. 6. Пример окна пульсоксиметра

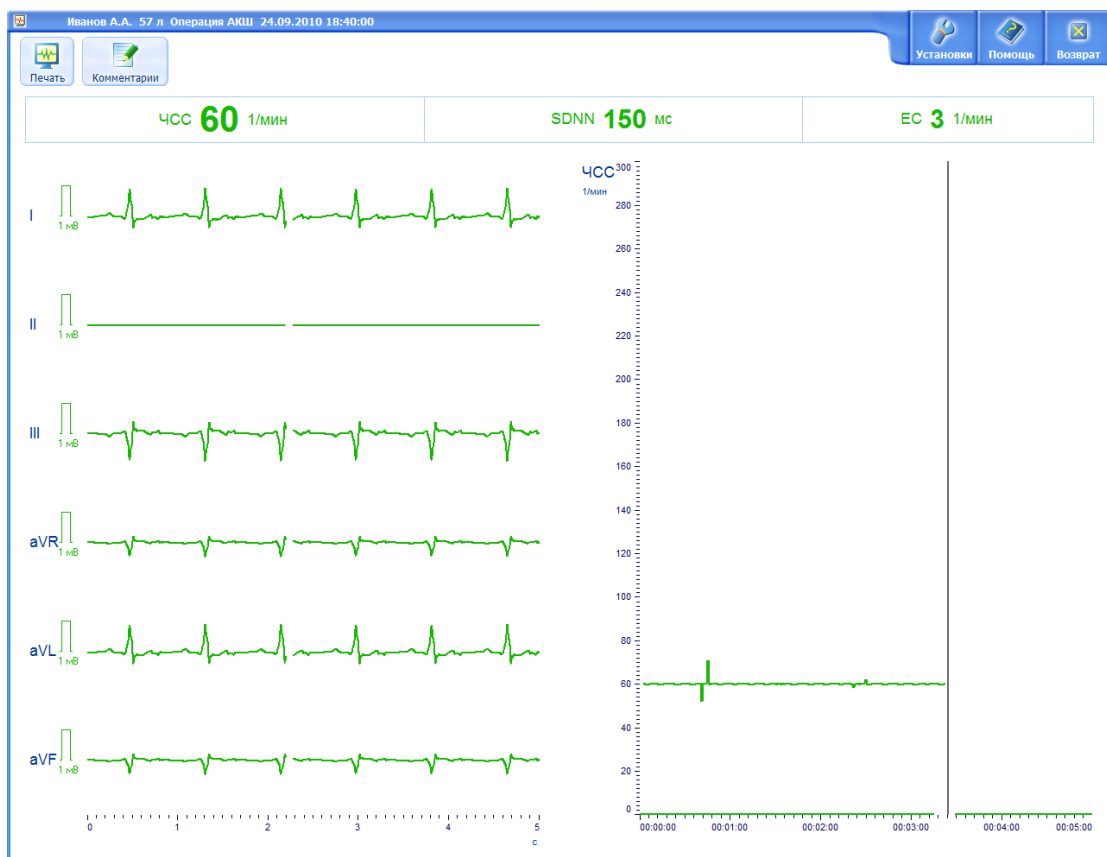


Рис. 7. Пример окна электрокардиографа

## Электрокардиограф

На рис. 7 представлен пример окна электрокардиографа.

В программе используется 12 стандартных отведений электрокардиографа. Доступно изменение развертки от 12,5 до 50 мм/с и настройка масштаба. Сигналы фильтруются низкочастотным и высокочастотным фильтрами в диапазоне от 0.5 до 35 Гц и режекторным фильтром на 50 или 60 Гц.

Реализован алгоритм выделения R-R интервалов для расчета пульса. Настройки позволяют задать допустимую погрешность выделения, количество R-зубцов для расчета и время обновления.

По рассчитанному значению пульса строится тренд за время от 5 минут до 24 часов. Полученное значение пульса может проверяться на допустимое значение.

## Электроэнцефалограф

На рис. 8 представлен пример окна электроэнцефалографа.

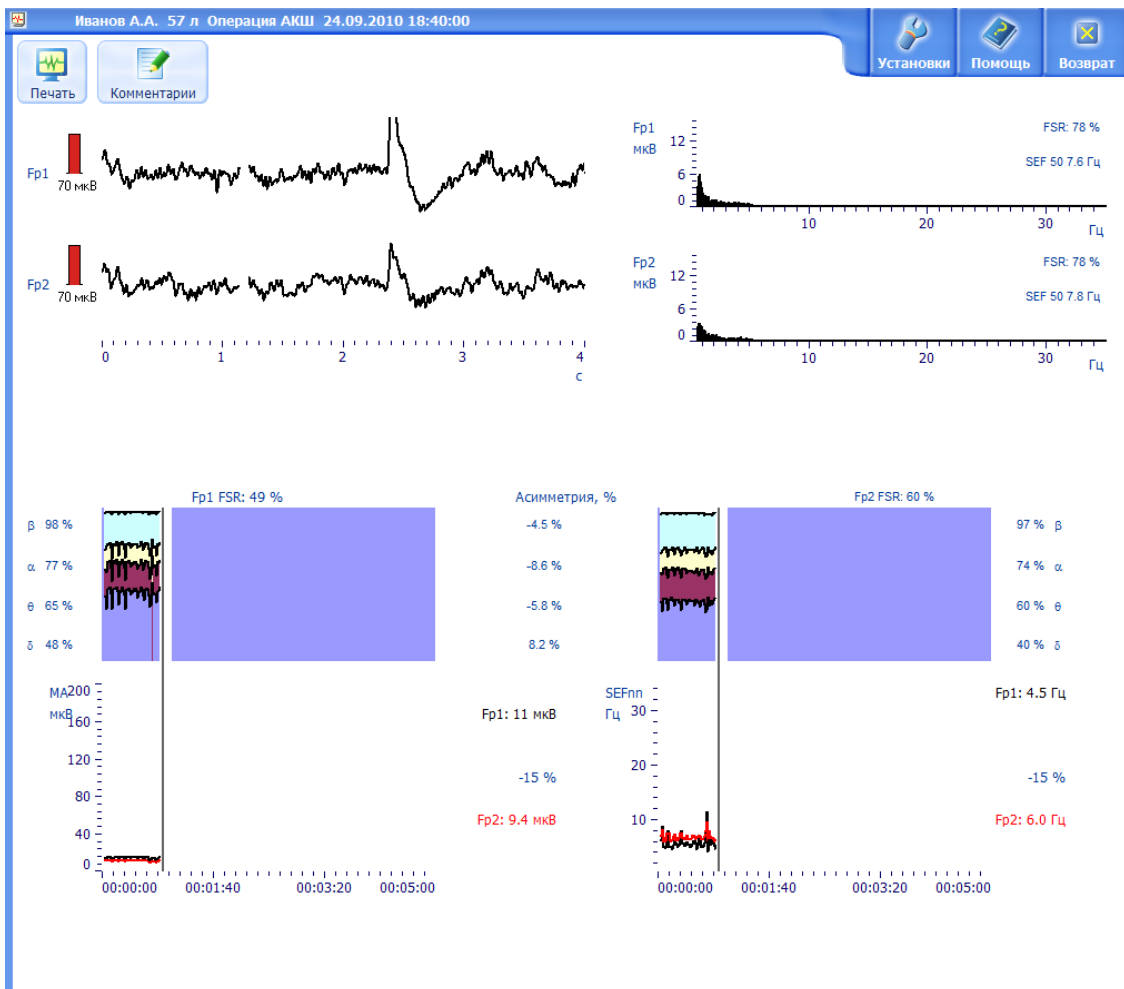


Рис. 8. Пример окна электроэнцефалографа

Модуль электроэнцефалографа является самым нагруженным. В этом модуле регистрируются и выводятся кривые электроэнцефалограммы по 10 каналам системы 10–20 % с настройками временного масштаба от 7.5 до 60 мм/с и амплитудного масштаба от 1 до 1000 мкВ/мм. Сигналы фильтруются низкочастотным фильтром до 15–70 Гц и высокочастотным фильтром от 0.3–5 Гц, а также режекторным фильтром 50 или 60 Гц.

По каждому каналу осуществляется расчет амплитудного и мощностного спектра, расчет частоты насыщенной мощности (Spectral Edge Frequency — SEF) и отношение быстрых ритмов к медленным (Fast Slow Ratio — FSR).

По выбранным для мониторинга каналам рассчитываются индексы биоэлектрического ритма, по которым строятся графики трендов. По каждому индексу рассчитывается асимметрия. Тренды за время от 5 минут до 24 часов также строятся по средней амплитуде сигналов и индексу SEF, по которым также рассчитывается асимметрия.

В качестве индексов рассчитываются и отображаются в окне методики и основном окне программы мониторинга индекс относительной мощности выбранного ритма, частота и мощность ритма в заданном диапазоне и общая мощность. По совокупности ритмов рассчитывается индекс асимметрии для двух выбранных каналов.

### **Комплексная оценка физиологических параметров**

В текущей версии программно-алгоритмического обеспечения комплекса заложена база для комплексирования информации в будущем и автоматизированной оценки состояния пациента. В текущей реализации в качестве комплексной оценки используется произведение средней скорости кровотока (по средней мозговой артерии) на среднюю амплитуду электроэнцефалографического сигнала. В будущем планируется добавить и другие комплексные оценки состояния пациента.

### **Заключение**

В работе проведен анализ различных медицинских приборных комплексов и их применимость для предполетной проверки состояния летчиков, в результате чего сделаны вывод о необходимости разработки программно-алгоритмического обеспечения измерительно-вычислительного комплекса, которое позволяет осуществлять комплексную оценку физиологических параметров.

Разработано программно-алгоритмическое обеспечение некоторых модулей такого медицинского измерительно-вычислительного комплекса, а именно модулей неинвазивного и инвазивного измерения давления, капнографа, пульсоксиметра, электрокардиографа и электроэнцефалографа. Реализован расчет, отображение и сохранение данных измерений за время до 24 часов. Реализована простейшая комплексная оценка физиологических

параметров, подтвердившая возможность использования разработанного программно-алгоритмического обеспечения отдельных приборов при комплексировании, и создана база для дальнейшей совместной обработки физиологических параметров человека.

Комплекс может быть использован для предполетной проверки пилотов, а также в любых амбулаторных и интраоперационных исследованиях, включающих указанные методики. Небольшие габариты позволяют использовать комплекс в машине скорой помощи и при оценке смерти мозга.

В будущем планируется на базе результатов клинического использования проведение комплексирования результатов обследования включенными в комплекс методиками и разработка методов автоматизированной диагностики ишемии головного мозга.

### **Библиографический список**

1. Robert Baron. Guest Editorial: Human Error Vs. Airborne Terrorism. // <http://www.airlinesafety.com/editorials/HumanErrorVsTerrorism.htm>.
2. Dehart, R. L.; J. R. Davis (2002). Fundamentals Of Aerospace Medicine: Translating Research Into Clinical Applications, 3rd Rev Ed.. United States: Lippincott Williams And Wilkins. p. 720. ISBN 9780781728980.
3. Разсолов Н. А., Чижов А. Я., Потиевский Б. Г., Потиевская В. И. Нормобарическая гипокситерапия. // Методические рекомендации для авиационных врачей. — М.: Министерство транспорта Российской Федерации. Государственная служба гражданской авиации, 2002.
4. Агеев В. М., Павлова Н. В. Приборные комплексы летательных аппаратов и их проектирование. — М.: Машиностроение, 1990.
5. Гайдар Б. В. и др. Транскраниальная доплерография в нейрохирургии. / Б. В. Гайдар, В. Б. Семенютин, Д. В. Свистов. — СПб.: Элби, 2008.
6. Цыган В. Н. Электроэнцефалография / В. Н. Цыган, М. М. Богословский, А. В. Миролюбов; под ред. М. М. Дьяконова. — СПб.: "Наука", 2008.
7. Филатов И. А., Павлова Н. В., Сергейчик В. В., Адашкин А. В., Грязнов П. А. Аппаратно-программные средства ранней диагностики и коррекции психофизиологического состояния человека. // Мир авионики, № 3, 2004, с. 35–40.

### **Сведения об авторе**

Загребин Дмитрий Александрович, аспирант Московского авиационного института (государственного технического университета), [demon\\_mai@mail.ru](mailto:demon_mai@mail.ru).