

УДК 615.471:616.073

КОМПЛЕКСНЫЙ БИОТЕХНИЧЕСКИЙ ПОДХОД НА ЭТАПЕ ИДЕЙНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ НЕИНВАЗИВНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

Д.А. Рогаткин, Л.Г. Лапаева

ГУ МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского
129110, г. Москва, ул. Щепкина 61/2

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы во всем мире все более интенсивно развиваются научные исследования по изучению прижизненных (*in vivo*, *in situ*) оптических свойств биологических тканей в норме и при различных патологиях, что позволяет уверенно говорить о становлении в медицине нового, многопрофильного диагностического направления, а также о зарождении соответствующего ему нового направления в медицинском приборостроении – направления по созданию приборов и устройств для оптической неинвазивной¹ диагностики [1-3 и др.]. Фактически стандартными на рынке медицинской техники стали уже приборы оптической пульсоксиметрии [4] и лазерной доплеровской флоуметрии [5]. Много сообщений встречается о приборах для флюоресцентной диагностики [6], оптической когерентной и диффузионной томографии [3, 7], анализаторах содержания жира в тканях, сахара, гемоглобина и оксигемоглобина в крови [1-3, 8 и др.]. Из всего многообразия приборов данного класса наиболее многочисленную и обособленную группу оборудования составляют приборы, реализующие так называемую идеологию *неинвазивной медицинской спектrophотометрии (НМС)* [3], когда оптическими методами *in vivo*, без взятия каких-либо биоптатов и/или анализов крови, в доступных для обследования участках тела пациента (кожа, слизистые полости рта и др.) оцениваются уровни и динамика накопления во времени тех или иных биохимических составляющих тканей – оксигемоглобина крови, флавиновых дыхательных ферментов, соединений порфиринового ряда, липофусцина, NADH и т.д. Причем, как показыва-

¹ Хотя, в данном случае, оптическое излучение и проникает внутрь тканей, являясь в строгом смысле этого слова *инвазивным* агентом, всю диагностическую технологию в целом можно характеризовать как *неинвазивную*, т.к. все диагностические процедуры выполняются без нарушения целостности обследуемого биологического объекта (БО). Оптическое излучение видимого и инфракрасного диапазона длин волн до уровней освещенности в 5-10 мВт/см² со временем экспозиции до 1 минуты практически не изменяет анатомо-морфологическую структуру тканей, не влияет на протекающие в них основополагающие биохимические и физиологические процессы и, соответственно, не нарушает общее функционирование обследуемого БО как живой и целостной биологической системы.

ют результаты последних исследований, наиболее многообещающим направлением развития приборов НМС является создание многофункциональных (универсальных) лазерных неинвазивных диагностических комплексов (МЛНДК), сочетано реализующих на едином оборудовании разные методы НМС – флюоресцентную диагностику, абсорбционную спектроскопию, лазерную доплеровскую флоуметрию и т.п. [9]. Это позволяет врачам не просто получать арифметическую сумму диагностической информации, которую можно было бы собрать каждым отдельным методом, а проводить достаточно многоплановые, функциональные обследования пациента, направленные на выявление тонких индивидуальных особенностей в кровоснабжении и метаболизме тканей с использованием одновременных и совокупных данных по разным диагностическим методикам и каналам [10].

Между тем, указанные диагностические приборы и устройства до последнего времени во всем мире создавались большей частью опытным (эмпирическим) путем, в отсутствии сколько-нибудь серьезно проработанной и систематизированной теории проектирования и конструирования таких систем. Понятно, что самые общие теоретические основы создания и функционирования любой медицинской и оптико-электронной аппаратуры, например [11-13], применимы в целом и в случае МЛНДК. Но также хорошо известно, что любой новый класс приборов, особенно диагностических, имеет и свою специфику, которая в той или иной степени сказывается на всем процессе их разработки и ввода в эксплуатацию, начиная с самых общих этапов идейно-технического проектирования и комплексирования системы в целом. Прежде всего, это касается особенностей формализации предметного представления задачи, разработки обобщенной структурно-функциональной схемы и физико-математической модели прибора. Определенная специфика проявляется и при формулировке общей целевой функции прибора, а также при проработке конкретных вопросов его архитектурной компоновки, информационного, программного, методического и метрологического обеспечения.

К сожалению, все эти вопросы до последнего времени мало затрагивались в специализированной литературе применительно к МЛНДК, поэтому данная статья призвана, частично, восполнить этот пробел. В статье рассматриваются общие системные и методологические принципы, определяющие специфику задач проектирования МЛНДК. Дается формальное описание предметного представления задачи, приводится структурно-функциональная модель обобщенного МЛНДК и формулируется его единая целевая функция. По результатам анализа обосновываются принципы блочно-модульного построения аппаратных средств МЛНДК и вычленяется ключевая роль программно-алгоритмического обеспечения МЛНДК в всех вопросах общей компоновки и синтеза системы в целом.

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТНОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗАДАЧИ

Следуя последним тенденциям в развитии методов и приборов НМС [2], будем рассматривать некий обобщенный МЛНДК, понимая под этим термином любую конкретную реализацию любого диагностического прибора данного класса, вне зависимости от заложенных в него отдельных методик оптической и лазерной (если используются лазеры в качестве источника излучения) НМС. Согласно классическим канонам медицинского приборостроения [11] любой медицинский диагностический прибор является разомкнутой биотехнической системой медицинского назначения (**БТС-М**), т.к. представляет собой совокупность биологических и технических элементов, объединенных в единую функциональную систему и связанных между собой в едином контуре управления (разомкнутом в данном случае). В качестве биологических элементов здесь выступают, с одной стороны, сам обследуемый живой биологический объект (**БО**) - пациент, а, с другой стороны, оператор-врач, управляющий работой прибора, анализирующий поступающую от него информацию и принимающий решение об оказании дальнейшей медицинской помощи обследуемому пациенту на основе полученной информации.

Соответственно, в данном случае НМС рассматривается задача создания многофункциональной диагностической БТС-М (МЛНДК) для получения информации об обследуемом БО посредством использования метода оптического спектрального зондирования. Используется активный метод зондирования, т.е. разрабатываемый МЛНДК в своем составе содержит оптические источники подсветки БО, которые создают потенциальный аналоговый материальный носитель полезной информации о БО – исходный аналоговый оптический сигнал $S(x,y,\lambda,t)$, где x и y – пространственные координаты по поверхности БО, λ - длина волны излучения, t - время. Обследуемый БО за счет своих индивидуальных оптико-физических свойств, связанных с особенностями анатомо-морфологического строения и биохимического состава тканей, кодирует исходный оптический сигнал $S(x,y,\lambda,t)$, меняя его основные информационные параметры – спектральную плотность мощности, форму, частоту следования и длительность импульсов, глубину и закон амплитудно-частотной модуляции сигнала и т.п., и переводит его во вторичный оптический сигнал $S^*(x^*,y^*,\lambda^*,t^*)$. Задача МЛНДК – собрать от БО достаточный по мощности вторичный кодированный сигнал $S^*(x^*,y^*,\lambda^*,t^*)$, очистить его, при необходимости, от возможных внешних помеховых сигналов и шума и, имея информацию об исходном зондирующем сигнале $S(x,y,\lambda,t)$, определить (вычислить) все существенные оптико-физические свойства БО, вызвавшие конкретное зарегистрированное кодирование сигнала. На заключительном этапе обработки данных эти оптико-физические свойства БО должны быть переведены (конвертированы) в МЛНДК в значимые для врача медико-биологические данные о БО и интерпретированы, если потребуется, с точки зрения статистико-вероятностной классификации ситуации, принятой в медицине [14].

Поскольку вторичный оптический сигнал, поступающий в МЛНДК от БО, является также аналоговым сигналом, создаваемый МЛНДК должен осуществлять внутри себя первичную аналоговую регистрацию и обработку сигнала $S^*(x^*, y^*, \lambda^*, t^*)$ с последующей его дискретизацией и оцифровкой по всем основным информационным параметрам – амплитудам, длинам волн, интервалам времени (основной принцип извлечения информации из любых аналоговых сигналов [13]). Получение же конечной оптико-физической и медико-биологической информации об обследуемом БО должно осуществляется в МЛНДК уже на основе высокоуровневых вычислительных, обрабатывающих и/или интерпретирующих алгоритмов и процедур, реализуемых программно [14, 15]. Оператор МЛНДК (врач) должен иметь возможность просмотра этой информации в привычном для него виде и вывода ее с целью архивации, создания баз данных и документирования на долговременные носители.

В общем виде такое формальное описание предметного представления задачи может быть проиллюстрировано блок-схемой рис.1. Из нее хорошо видно, что создаваемый по этому принципу МЛНДК фактически представляет собой комплексную информационно-измерительную БТС-М, функциональные параметры и эффективность которой более чем на две трети определяются возможностями ее вычислительных ресурсов и пользовательским программно-методическим обеспечением [14]. Следовательно, важнейшими этапами создания любых МЛНДК являются этапы разработки их информационного, алгоритмического и программного обеспечения (ПО)¹, особенно этап разработки общей идеологии вычислительного процесса в части обработки и анализа данных диагностики.

Сегодня не существует пока универсальных алгоритмов обработки данных для систем типа МЛНДК. Более того, нет еще даже единых математических моделей для задач расчета поля излучения в случайно-неоднородной среде, каковой является биоткань, на которых базируются эти алгоритмы и которые позволяли бы получать точные аналитические решения задачи для выходящего из ткани потока излучения в любом случае плотноупакованной светорассеивающей и поглощающей свет среды. Поэтому, большой объем теоретических исследований в НМС приходится сегодня на разработку приближенных моделей и алгоритмов, пригодных в том или ином конкретном случае [1, 3, 16], включая создание виртуальных физико-математических моделей БО в терминах теории распространения и рассеяния света в мутных средах [17]. Поскольку именно эти модели составляют основу современных методов анализа и обработки данных в НМС [14], от их удачного выбора на этапе проектирования и будут, в основном, зависеть общая клиническая эф-

¹ В последние годы в связи с массовым развитием техники персональных компьютеров и интерактивных сред объектно-графического программирования в научных публикациях все чаще термины информационного, алгоритмического, математического и программного обеспечения объединяются в единое и общее понятие системного ПО прибора. Мы также далее в тексте будем следовать этой тенденции, понимая под ПО совокупность всех программ, алгоритмов и математических моделей, необходимых для работы прибора.

фektivность и диагностические возможности всего МЛНДК. А, так как, все эти модели и алгоритмы разрешимы пока лишь в частных случаях использования конкретных длин волн, конкретных реализаций оптических схем освещения БО и определенной в каждом конкретном случае геометрии регистрации вторичного оптического сигнала $S^*(x^*,y^*,\lambda^*,t^*)$ от БО, то можно обоснованно говорить о том, что сегодня выбранные методы и алгоритмы обработки данных «диктуют» разработчику и всю основную архитектуру приемо-передающей части МЛНДК. Аппаратные средства МЛНДК, как показывают блок-схема рис.1 и приведенные выше рассуждения, в данном случае оказываются вторичными по отношению к системному ПО МЛНДК и выступают лишь в качестве физических элементов формирования, регистрации и трансляции оптических и электронных сигналов, которые необходимы для замкнутой работы вычислительных, обрабатывающих и интерпретирующих компьютерных алгоритмов ПО МЛНДК.

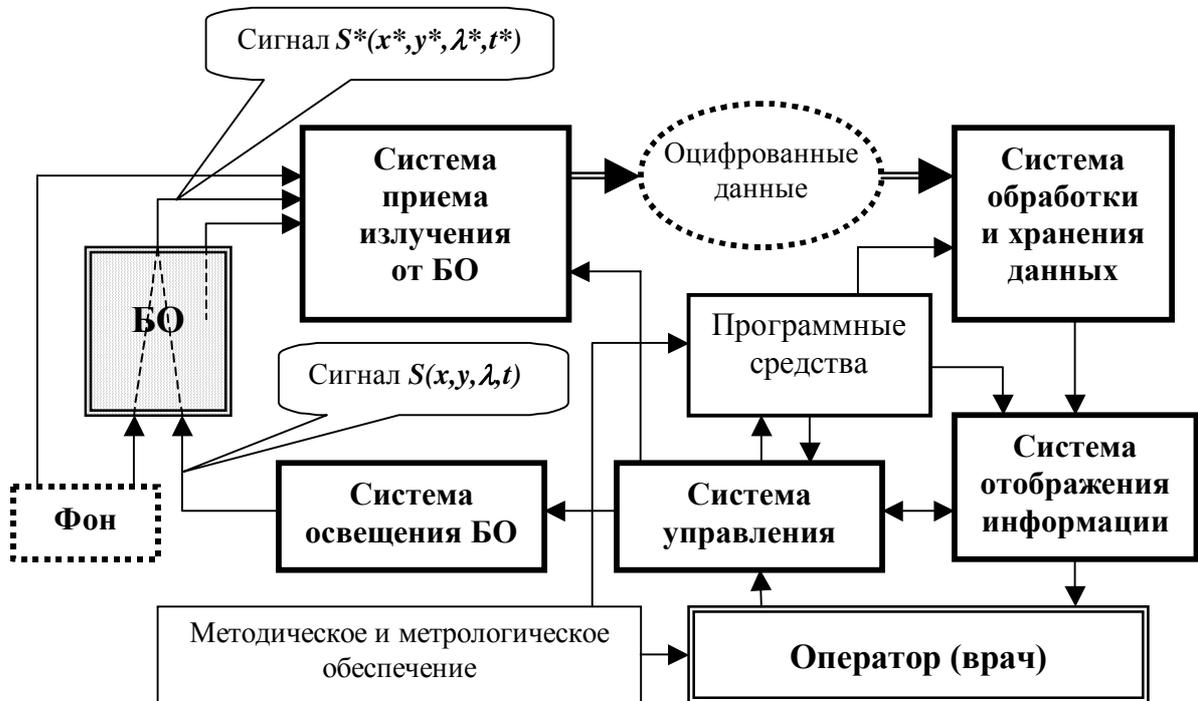
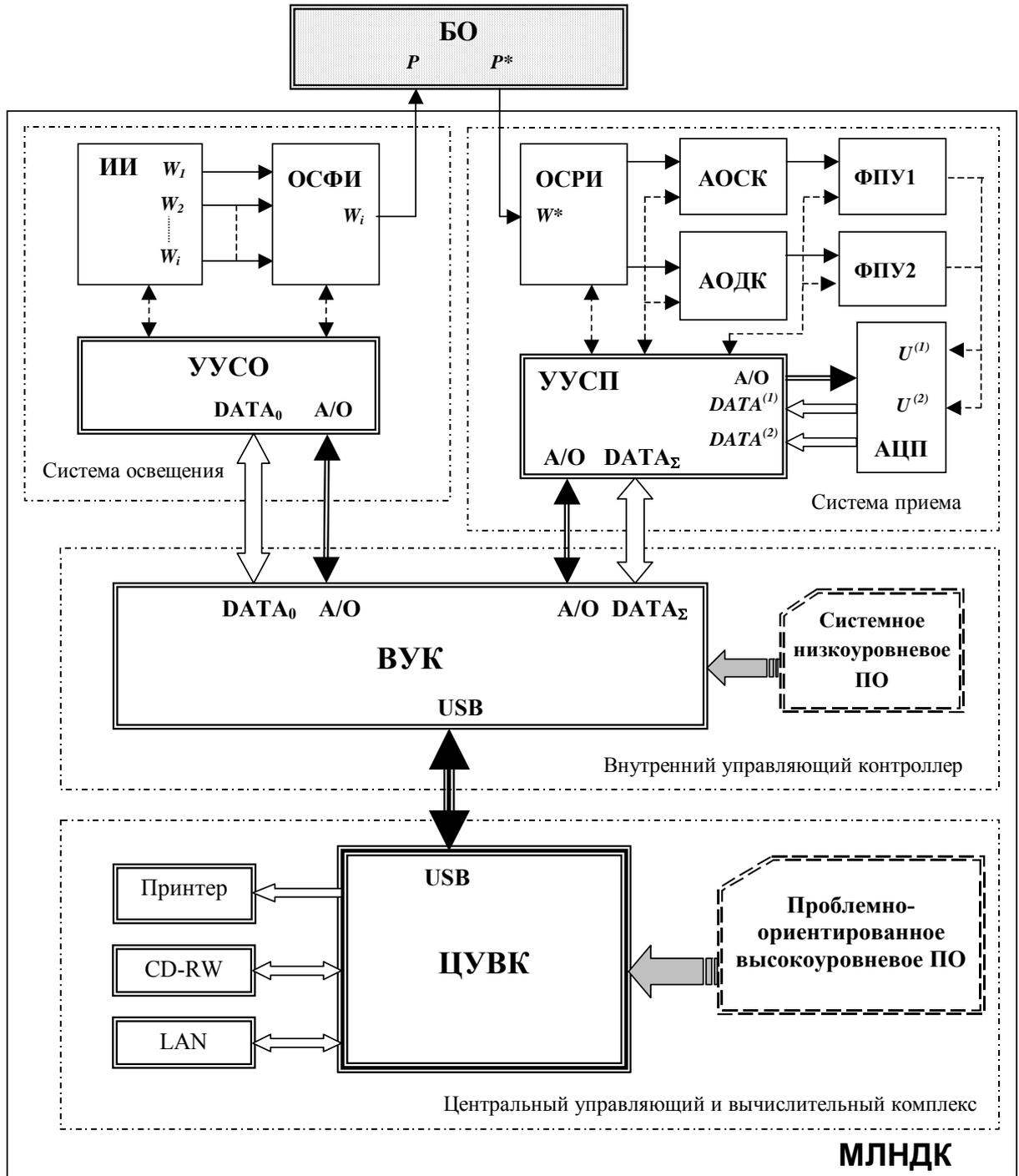


Рис. 1. Формальное предметное представление задачи (пояснения в тексте).

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ОБОБЩЕННОГО МЛНДК И ЕГО ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ

Одной из первых и фундаментальных задач проектирования любого нового оптико-электронного оборудования, в том числе медицинского, считается задача разработки адекватной структурно-функциональной модели (СФМ) предполагаемого нового прибора, а также формулировка его общей целевой функции [12, 13]. Рассмотрим одну из возможных СФМ (рис.2) обобщенного МЛНДК на основе опубликованных нами ранее данных [9].



Условные обозначения:

- \longrightarrow - оптические сигналы и данные; \dashrightarrow - электронные сигналы и данные;
- \longrightarrow - цифровые данные; $\xrightarrow{A/O}$ - сигналы адреса и управления;
- \Longrightarrow - канал передачи макрокоманд и массивов данных; \longleftarrow - загрузка программ.

Рис. 2. Структурно-функциональная модель обобщенного МЛНДК (пояснения в тексте).

В основу разрабатываемой СФМ положим, согласно материалу предыдущего раздела, типовую идеологию блочно-модульной системы с дискретным набором источников излучения (**ИИ**) и, соответственно, дискретным набором длин волн зондирования. Это означает, что блок ИИ в МЛНДК создает дискретный набор оптических зондирующих сигналов (первый уровень дискретизации сигналов по спектру и времени воздействия)

$$W_i = W_i(\Delta\lambda_i, \Delta t_i),$$

где: W_i – мощность излучения i -го источника, $\Delta\lambda_i$ – спектральный интервал его работы, Δt_i – время работы i -го источника. Оптическая схема формирования излучения (**ОСФИ**) обеспечивает их сведение в один освещающий пучок и формирует поверхностную плотность мощности (освещенность) на исследуемом БО:

$$P = f(x, y, \lambda, t, W_i).$$

Исследуемый БО, являясь, по сути, спектрально нелинейным оптическим фильтром и источником собственного, например, флюоресцентного излучения, преобразует падающую плотность мощности P в плотность мощности P^* вторичного излучения с БО, что равнозначно кодированию исходного оптического сигнала некоторой функцией кодирования B :

$$P^* = f^*(x^*, y^*, \lambda^*, t, W_i, W_{\phi 1}) = B(x \rightarrow x^*, y \rightarrow y^*, \lambda \rightarrow \lambda^*, t, \{m_j(t)\}) \cdot (P + P_{\phi 1}),$$

где: B – безразмерная функция кодирования излучения обследуемым БО, $\{m_j(t)\}$ – массив медико-биологических и оптико-физических параметров БО, влияющих на функцию кодирования, $W_{\phi 1}$ и $P_{\phi 1}$ – мощность и плотность мощности фонового излучения, проходящего через БО, которое также подвергается кодированию со стороны БО.

Оптическая схема регистрации излучения (**ОСРИ**) МЛНДК собирает в некотором телесном (апертурном) угле ω^* исходящее от БО и распределенное по его поверхности вторичное излучение P^* и доставляет его в МЛНДК. Вместе с этим в ОСРИ попадает и некоторая часть фонового излучения $W_{\phi 2}$, не проходящая БО. Таким образом, в МЛНДК попадает общая мощность излучения W^* , собранная ОСРИ:

$$W^*(\lambda^*, t, \{m_j(t)\}, \dots) = \int_0^{\omega^*} P^*(x^*, y^*, \lambda^*, t, \{m_j(t)\}, \dots) d\omega + W_{\phi 2}(\lambda^*, t).$$

Общая целевая функция МЛНДК может быть теперь сформулирована в виде задачи определения массива $\{m_j(t)\}$ по измеренным значениям W^* как функции амплитуды сигнала, спектрального диапазона длин волн и времени наблюдения БО при известной исходной функции $P = f(x, y, \lambda, t, W_i)$.

В общем случае для определения j неизвестных элементов массива $\{m_j(t)\}$ как функции времени надо иметь $k \geq j$ данных измерений как функции времени. Для этого, как показано в [9], приемной системе МЛНДК достаточно реализовывать основные функции по детектированию и дис-

кретизации 2-х разноплановых сигналов от БО – слабых по амплитуде, но статических на коротких интервалах времени (секунды) сигналов флюоресценции (канал флюоресцентной диагностики) и быстромменяющихся динамических сигналов основного спектра $\Delta\lambda_i$ (канал спектроскопии рассеяния, поглощения и доплеровской флоуметрии). В представленной СФМ это учтено введением в систему двух аналоговых оптических каналов – статического (АОСК) и динамического (АОДК). Дискретизация сигналов по регистрируемому оптическому спектру λ^* в АОСК (второй уровень дискретизации по спектру) осуществляется в данной СФМ построением этого канала, например, по схеме полихроматора с одномоментной регистрацией всего спектра линейкой чувствительных фотоприемников типа ПЗС-фотоприемников (ССД-детекторов). Дискретизация сигналов по спектру в АОДК осуществляется за счет первичной дискретизации по спектру $\Delta\lambda_i$ излучения источников в ИИ путем выбора в качестве ИИ подходящего набора лазерных излучателей, а общая дискретизация по времени сигналов в АОСК и АОДК осуществляется путем дискретизации времени опроса и выбором разной частоты опроса фотоприемных устройств каждого канала – ФПУ1 и ФПУ2.

Последующая дискретизация сигналов по амплитуде может осуществляться методом стандартного аналого-цифрового преобразования (АЦП) электрических сигналов с ФПУ системы приема и передачи полученных массивов данных для промежуточного хранения, сортировки и последующей обработки в память внутреннего управляющего контроллера (ВУК). Этот же контроллер обеспечивает во всем МЛНДК низкоуровневое распределение управляющих команд и данных между системой приема и системой освещения внутри МЛНДК. Собственно низкоуровневое электронное управление узлами и модулями систем приема и освещения осуществляют специализированные устройства управления (УУСО и УУСП). Окончательная высокоуровневая обработка данных и связь МЛНДК с оператором осуществляется центральным управляющим и вычислительным комплексом (ЦУВК) на основе современного быстродействующего компьютера. Таким образом, аппаратная обработка сигналов W^* в МЛНДК приводит к образованию двух основных массивов напряжений $\{U^{(n)}\}$ с ФПУ и двух полных цифровых массивов данных $\{DATA^{(n)}\}$, хранящих информацию об амплитуде, оптическом спектре и динамических параметрах сигналов:

$$W^* \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \{U_{\Delta\lambda_i, \lambda^*}^{(1)}\} \rightarrow \{DATA_{\Delta\lambda_i, \lambda^*, t_1}^{(1)}\} \\ \{U_{\Delta\lambda_i, t_2}^{(2)}\} \rightarrow \{DATA_{\Delta\lambda_i, t_2, t_1}^{(2)}\} \end{array} \right\}$$

где: $t_2 \ll t_1$ и t_1 – временные масштабы дискретизации сигналов на малых отрезках времени (доли и единицы секунд) и на относительно больших интервалах времени (минуты, часы, дни) соответственно. Задачи высокоуровневых вычислительных алгоритмов ЦУВК сводятся теперь, главным

образом, к двум основным функциям – восстановлению по данным измерений оптических и медико-биологических свойств БО:

$$\{m_j(t)\} = AC \left\{ \begin{array}{l} \{DATA_{\Delta\lambda_i, \lambda^*, t_1}^{(1)}\} \\ \{DATA_{\Delta\lambda_i, t_2, t_1}^{(2)}\} \end{array} \right\},$$

где, условно, AC - вычислительный алгоритм, и к интерпретации вычисленного массива $\{m_j(t)\}$ в терминах биологии и медицины с вероятностной классификацией ситуации:

$$\{CS\} = AI[\{m_j(t)\}],$$

где: AI – интерпретирующий алгоритм, а $\{CS\}$ – информационный текстовый массив о наблюдаемой клинической ситуации по данному конкретному обследованию.

Такое представление СФМ МЛНДК дает возможность на следующих этапах проектирования обоснованно вычлнить в явном виде основные подзадачи, подлежащие решению (задачу разработки вычислительных алгоритмов, задачу параметрического синтеза узлов и блоков МЛНДК и т.д.), а также создавать уже на этапе идейно-технического проектирования виртуальные имитационные математические модели МЛНДК.

ПРИНЦИПЫ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО ПОСТРОЕНИЯ МЛНДК

Представленная СФМ МЛНДК подсказывает разработчику наиболее логичный, простой и оптимальный путь дальнейшей проектно-конструкторской проработки аппаратных средств МЛНДК – путь создания интегрированной блочно-модульной конструкции, отдельными структурно-функциональными элементами которой являются достаточно типовые для многих оптоэлектронных приборов и устройств отдельные узлы и блоки.

Возможность такого подхода рассматривались нами путем анализа доступных литературных источников, содержащих описания и технические характеристики существующих конструкций разных оптоэлектронных узлов и блоков, их схемно-технических, технологических и т.п. решений. Исследовались также общие тенденции в мировом приборостроении путем анализа публикаций в различных тематических рекламных изданиях (журналы “Opto&Laser Europe”, “Photonics Spectra”, “Europhotonics” и др.). Полученные совокупные данные позволяют утверждать, что, наряду с традиционными производителями отдельных комплектующих элементов (микросхемы, линзы и т.п.) и производителями завершенной, конечной продукции (полномасштабные приборы), на первое место сегодня выходит новый класс производителей, который не был замечен в середине 1970-1980-х гг., – производители отдельных универсальных оптоэлектронных сборочных единиц и функциональных блоков. Так, например, фирмы “Point Source

Ltd.” и “Photonics Products” (США) предлагают рынку законченные лазерные модули на разные длины волн, оснащенные электронными драйверами управления, воспринимающими компьютерные макрокоманды, для непосредственного встраивания их в интегрированные автоматизированные системы. Фирма “Piezosystem jena GmbH” производит системы позиционирования и юстировки оптических элементов, также предназначенные не для самостоятельной работы, а для работы внутри интегрированных комплексных систем. “Andor Technology Co.” предлагает фотоприемные CCD-детекторы и сенсоры по “ОЕМ” технологии – технологии прямого сопряжения сигналов с шиной любого современного компьютера. “Acton Research Corp.” выпускает спектрофотометрические модули с разными характеристиками по чувствительности и спектральному разрешению, от миниатюрных, выполненных на платах с разъемами “PCI” для установки внутрь корпуса персональных компьютеров, до профессиональных высокоточных моно- и полихроматоров со встроенной системой электронной юстировки, ФПУ, аналоговыми усилителями и модулями АЦП для работы вне компьютера, но под его управлением.

Таким образом, для производителя конечной медицинской диагностической техники типа МЛНДК, сегодня нет необходимости с нуля разрабатывать все основные узлы и блоки прибора. Достаточно выбрать на рынке наиболее подходящий по техническим характеристикам модуль и адаптировать его входные и выходные параметры под требования разрабатываемой новой системы. Это во многом позволяет задачи проектирования и конструирования отдельных аппаратных элементов МЛНДК свести к стандартным задачам классического оптико-электронного и лазерного приборостроения. Используя же накопленный в мире опыт в этой области, а также базы данных выпускаемых сегодня отдельных узлов и модулей оптико-электронных, лазерных и/или медицинских приборов, все эти задачи на 85-90% можно свести, в основном, к задачам адаптации и сопряжения известных схемотехнических решений в единую целевую конструкцию МЛНДК.

Соответственно, применительно к проблеме создания научно-обоснованной концепции проектирования и комплексирования МЛНДК, можно сформулировать сегодня следующие основные принципы блочно-модульного построения аппаратных средств МЛНДК:

- a) принцип максимальной стандартизации отдельных узлов и модулей МЛНДК;
- b) принцип максимальной функциональной специализации узлов и блоков МЛНДК;
- c) принцип структурно-функциональной иерархии узлов и блоков внутри МЛНДК;
- d) принцип оптимального разделения аппаратных и программных функций между узлами и блоками МЛНДК с конечным подчинением всех модулей и систем вышестоящим по иерархии компьютерным системам управления;
- e) принцип возможности дальнейшего наращивания и усовершенствования всей системы путем замены старых и интегрирования в систему новых, более производительных модулей и блоков (принцип “up-grade”).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывает материал данной статьи, основной спецификой при разработке и создании МЛНДК является наличие в системах НМС большого количества проблемно-ориентированных вычислительных и интерпретирующих алгоритмов, которые в очень большой степени определяют облик и функциональные возможности всей системы в целом. Предложенные структурно-функциональная модель и целевая функция обобщенного МЛНДК, учитывающие эти особенности, позволяют уже на начальных этапах проектирования МЛНДК полностью формализовать и вычлнить в явном виде основные подзадачи последующего комплексирования и конструирования всей системы, а также создавать достаточно наглядные имитационные математические модели разрабатываемого МЛНДК. Еще одной особенностью диагностических систем данного класса, как показывает представленный материал, является заложенный в них метод оптической спектроскопии биотканей, требующий несколько уровней дискретизации сигналов по спектру действия, амплитудам и характерным временам в изменении сигналов. Это накладывает определенные ограничительные требования на общее количество таких каналов в МЛНДК и их быстродействие. С другой стороны, сами аппаратные средства МЛНДК, исходя из предложенной структурно-функциональной модели, не являются сколько-нибудь специфичными на современном уровне развития оптики, электроники и лазерной техники. Поэтому, во многом, задачи проектирования и конструирования отдельных узлов и блоков МЛНДК можно свести сегодня к стандартным задачам классического оптико-электронного и лазерного приборостроения. Используя же накопленный в мире опыт в этой области, а также базы данных по выпускаемым отдельным узлам и модулям оптико-электронных, лазерных и медицинских приборов, все эти задачи на 85-90% сводятся, в основном, к задачам адаптации и сопряжения известных схмотехнических решений в единую целевую конструкцию МЛНДК.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №05-08-33354а) и Роснауки (контракт № 02.442.11.7269).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рогаткин Д.А.* Лазерная клиническая диагностика как одно из перспективных направлений биомедицинской радиоэлектроники следующего тысячелетия. // Биомедицинская радиоэлектроника, №3, 1998. – с.34-41.
2. *Рогаткин Д.А., Лапаева Л.Г.* Перспективы развития неинвазивной спектрофотометрической диагностики в медицине. // Медицинская техника, №4, 2003. - с.31-36.
3. Оптическая биомедицинская диагностика. В 2-х т. / Пер. с англ. под ред. *В.В.Тучина*. – М.: Физматлит, 2007.
4. ГОСТ Р ИСО 9919-99: Оксиметры пульсовые медицинские. Технические требования и методы испытаний. – М.: Госстандарт РФ. – 2000.
5. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови / Под. Ред. *А.И. Крупаткина и В.В. Сидорова* – М.: Медицина. – 2005.
6. *Лощенов В.Б., Стратонников А.А.* и др. Портативная спектроскопическая система для флюоресцентной диагностики опухолей и контроля за фотодинамической терапией. // Росс. Хим. Журнал, т. XLII, №5, 1998. – с.50-53.
7. Руководство по оптической когерентной томографии / Под ред. д.м.н. *Н.Д.Гладковой*, д.м.н. *Н.М.Шаховой*, чл.-корр. РАН, д.ф.-м.н. *А.М.Сергеева* – М.: Физматлит, 2007.
8. *Anderson R.R., Parrish B.B.* The optics of human skin. // J. of Inv. Dermatology, vol. 77(1), 1981. - p.13-19.
9. Патент РФ №2234242. Способ определения функционального состояния биологической ткани и диагностическая система для его реализации. // Горенков Р.В., Казаков А.А., Рогаткин Д.А. и др. – Приор. от 19.03.2002. - опубл. бюл. №23. – 2004.
10. *Любченко П.Н., Горенков Р.В., Рогаткин Д.А.* и др. Использование лазерных методов диагностики для оценки трофических нарушений в дистальных отделах тканей верхних конечностей у больных вибрационной болезнью // Лазерная медицина, Т.9, №3, 2005. – с. 38-43.
11. Биотехнические системы: Теория и проектирование. / Уч. пособие // Под ред. *В.М.Ахутина*. - Л.: ЛГУ. - 1981.
12. *Ахутин В.М., Лурье О.Б., Немирко А.П., Попечительцев Е.П.* Теория и проектирование диагностической электронно-медицинской аппаратуры. – Л.: ЛГУ, 1980.
13. *Мосягин Г.М., Немтинов В.Б., Лебедев Е.Н.* Общая теория оптико-электронных систем. – М.: Машиностроение. – 1990.
14. *Рогаткин Д.А.* Базовые принципы организации системного программного обеспечения многофункциональных неинвазивных спектрофотометрических диагностических приборов и комплексов // Медицинская техника, №2, 2004. – с.8-13.

15. Бессонов А.С., Колбас Ю.Ю., Рогаткин Д.А. Виртуальные диагностические приборы в медицинской неинвазивной спектрофотометрии // Технологии живых систем, т.4, №1, 2007. - с. 50-57.
16. Рогаткин Д.А. Об особенностях в определении оптических свойств мутных биологических тканей и сред в расчетных задачах медицинской неинвазивной спектрофотометрии // Медицинская техника, №2, 2007. – стр. 10-16.
17. Исимару А. Распространение и рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Т.1. - М.: Мир. - 1981.

COMPLEX BIO-TECHNICAL APPROACH ON A STAGE OF IDEOLOGICAL-TECHNICAL DESIGNING OF MULTIFUNCTIONAL DIAGNOSTIC SYSTEMS FOR NONINVASIVE MEDICAL SPECTROPHOTOMETRY

D.A. Rogatkin, L.G. Lapaeva

“MONIKI” named after M.F. Vladimirskiy
129110, Moscow, Shepkina str. 61/2

The devising of a general engineering theory of multifunctional diagnostic systems for noninvasive medical spectrophotometry is an important and promising problem in modern biomedical engineering. For the goal in this study on the example of a multifunctional laser noninvasive diagnostic system (MLNDS) the scientific-engineering formalization of an object description of the problem was made. The structure-functional model of generalized MLNDS as well as the united aim-function of that was developed and formulated. It is grounded a key role of system's software in all questions of architecture construction of MLNDS on the stages of ideological-technical designing of that. The basic principles of block-modules composition of MLNDS' hardware are suggested as well.