

АППАРАТ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ФОТОТЕРАПИИ С РАСШИРЕННЫМИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

А.В. Кипенский, Е.И. Сокол, В.В. Куличенко, Ю.И. Колесник
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Кафедра «Промышленная и биомедицинская электроника», лаборатория биомедицинской электроники
НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина
Тел.: (057) 70-76-237, 70-76-937, e-mail: lexh_kv@mail.ru
С.В. Литвиненко
«РАДМИР» ДП АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений
ул. Академика Павлова, 271, г. Харьков, 61054, Украина
Тел./факс: (057) 738-05-28, E-mail: radmir@niiri.kharkov.com

Annotation –The new device for carrying out procedures complex phototherapy has advanced functionality is presented. The especially its structure and ways of achieving multi-functionality device is described.

Key words – phototherapy, segment, microprocessor system, parameters of electromagnetic radiation.

Комплексная фототерапия является методом физиотерапии, суть которого заключается в воздействии электромагнитным излучением (ЭМИ) видимой области спектра не только на кожу и слизистые оболочки, а через них на подкожные ткани и жидкости организма (кровь и лимфа), но и на орган зрения, а через него на центральную нервную систему (ЦНС) [1, 2]. В качестве источников ЭМИ в аппаратах для такой терапии используются различные излучатели, отличающиеся принципом действия, мощностью и спектром излучения, а также специфическими параметрами (когерентность, поляризованность, направленность и т.д.).

Обеспечение высокой эффективности любого метода фототерапии, в том числе и при комплексном воздействии, достигается за счет применения светового потока с параметрами ЭМИ, изменяющимися во времени по различным законам [3]. Обычно в качестве таких параметров используют частоту модуляции, мощность и длину волны излучения, зоны облучения и излучения [4, 5]. Значения параметров ЭМИ и законы их изменения для разных систем организма подбираются с учетом особенностей восприятия воздействия. При облучении кожи и подкожных тканей основную роль играет энергетическая составляющая ЭМИ, а при воздействии на ЦНС – информационная. Особенно это следует учитывать при проведении процедур комплексной фототерапии, поскольку при этом воздействию одновременно подвергаются несколько различных систем.

Существующие фототерапевтические аппараты, как правило, предназначены для воздействия лишь на один орган или одну систему [6, 7]. При этом побочное воздействие на другие системы или органы пытаются свести к минимуму. Например, при воздействии на кожные покровы пациента, орган зрения защищают специальными светофильтрами или заслонками. Наиболее простым и наименее безопасным вариантом здесь является простое закрытие глаз или игнорирование воздействия, поскольку это приводит к дезориентации, ослеплению, резкому изменению психоэмоционального состояния.

Таким образом, ненормированное облучение ЭМИ различных систем организма человека может не только снизить эффективность фототерапии, но и

привести к нанесению ущерба здоровью.

Цель данной работы состояла в создании принципиально нового фототерапевтического аппарата, обеспечивающего проведение процедур комплексной фототерапии с возможностью регулирования параметров воздействия в широком диапазоне, их автоматическим изменением во времени по заданным законам, в том числе и с учетом ритмических процессов в организме человека.

При разработке аппарата исходили из того, что для эффективной реализации всех современных методик фототерапии, обеспечения различных режимов излучения и регулирования параметров воздействия ЭМИ наиболее целесообразно использовать светоизлучающие диоды. В общем случае такие диоды представляет собой полупроводниковые приборы, излучаемый свет которых лежит в достаточно узком диапазоне спектра. К преимуществам светоизлучающих диодов, следует так же отнести малую инерционность, незначительное энергопотребление и низкую стоимость.

Для получения различных спектров ЭМИ могут быть использованы несколько светоизлучающих диодов с различной длиной волны [8] или светоизлучающие диоды с управляемым цветом свечения [9]. В разработанном аппарате был использован первый вариант получения различных спектров ЭМИ. Необходимая мощность излучения с каждым спектром была обеспечена включением нескольких светоизлучающих диодов в одну группу (светодиодная группа). Светодиодные группы с различными спектрами ЭМИ были смонтированы на печатных платах, каждая из которых представляла собой излучающий сегмент. Совокупность излучающих сегментов, размещенных в k столбцах по n строк, получила название – фотонное поле [1]. Функциональная схема фотонного поля приведена на рис. 1.

Основными блоками фотонного поля являются:

- БК1-БКп – блоки коммутации, обеспечивающие подключения питания, канала передачи данных «data» к сегментами, а также осуществляющие позиционное задание по строкам для сегментов поля в соответствии с управляющим словом по каналу «cod»;
- С1.1-Сп.к – сегменты с номерами соответствующими их положению в фотонном поле. Номера

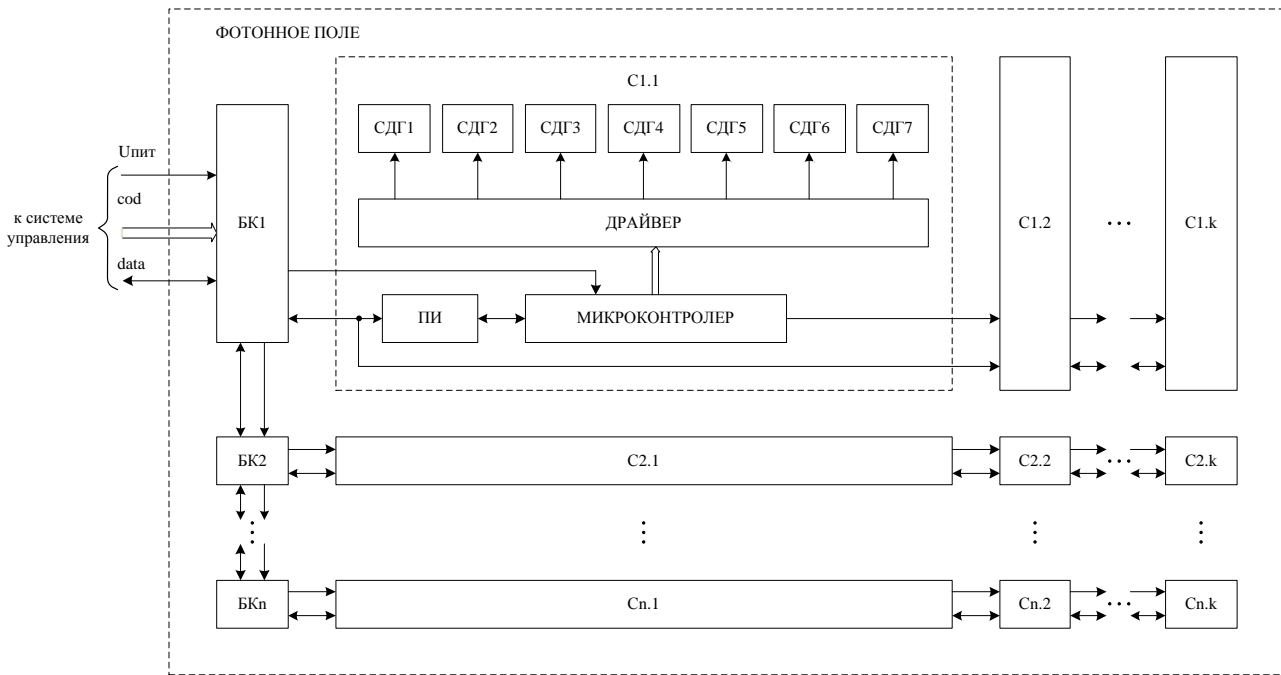


Рис. 1 Функциональная схема фотонного поля

сегментов устанавливаются при инициализации устройства и являются неизменными в течении времени работы аппарата.

К основным блокам сегмента можно отнести:

- СДГ1 – светодиодная группа с длиной волны максимума излучения 405 нм (фиолетовый участок спектра);

- СДГ2 – светодиодная группа с длиной волны максимума излучения 470 нм (синий участок спектра);

- СДГ3 – светодиодная группа с длиной волны максимума излучения 505 нм (голубой участок спектра);

- СДГ4 – светодиодная группа с длиной волны максимума излучения 525 нм (зеленый участок спектра);

- СДГ5 – светодиодная группа с длиной волны максимума излучения 590 нм (желтый участок спектра);

- СДГ6 – светодиодная группа с длиной волны максимума излучения 601 нм (оранжевый участок спектра);

- СДГ7 – светодиодная группа с длиной волны максимума излучения 650 нм (красный участок спектра);

- драйвер – обеспечивает согласование выходных каскадов микроконтроллера со светодиодными группами по нагрузочной способности;

- микроконтроллер – задает режим работы светодиодных групп в соответствии с заданием и реализует метод широтно-импульсной модуляции для регулирования мощности излучения;

- ПИ – преобразователь интерфейсов – обеспечивает подключение микроконтроллера к общему каналу передачи данных «data».

Все сегменты фотонного поля являются идентичными, а номера позиционного расположения задаются при каждом включении аппарата. Алгоритм задания номеров сегментов приведен на рис. 2.

При включении питания переменным X и Y присваиваются значения первого сегмента, переменной Z значение первого БК. Переменная Z передается по каналу управляющего слова «cod» разрешая инициа-

лизацию сегментов выбранной строки. В течение некоторого временного интервала (Time) ожидается ответ от сегмента. По истечению этого интервала инициализация считается завершенной (нет больше сегментов для инициализации). Если же ответ пришел (data ≠ 0), то он содержит два битовых поля: data.I – запрос на инициализацию и data.L – наличие последующего сегмента в строке. После этого по каналу данных «data» передаются в сегмент номера положения по горизонтали и вертикали.

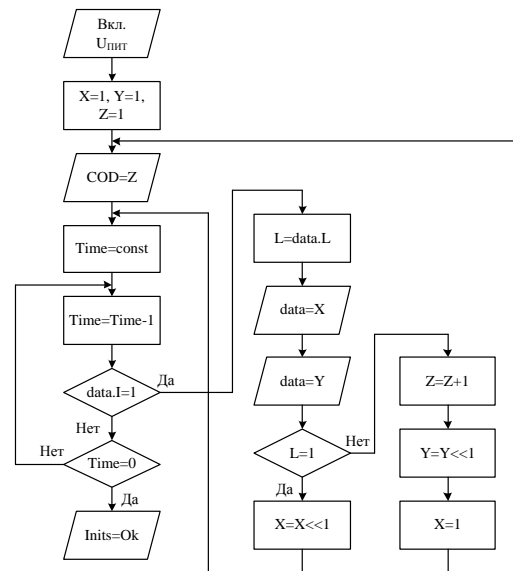


Рис. 2

В зависимости от значения параметра L происходит изменение переменной X в пределах одной строки или же изменение переменных Y и Z с передачей последней по каналу «cod» для подключения очередного БК.

Применение такого алгоритма для формирования фотонного поля позволяет использовать различное

количество сегментов, максимальное значение которого ограничивается лишь разрядностью управляющего слова.

Управление работой сегментов осуществляется путем передачи данных по каналу «data» в микроконтроллер каждого из них. Эти данные формирует система управления аппаратом, которая собрана в отдельном корпусе и предназначена для задания и контроля различных режимов облучения пациента. Кроме фотонного поля к системе управления могут быть подключены ПЭВМ и диагностический прибор. Функциональная схема такой системы представлена на рис. 3.

Система управления состоит из микроконтроллера, который реализует следующие функциональные элементы:

- ВУБ – вычислительно-управляющий блок, обеспечивающий математическую обработку входных данных и формирование управляющих команд для задания режимов работы;
- ПЗУ – постоянное запоминающее устройство (флэш память микроконтроллера), предназначенное для хранения программ различных режимов облучения с начальными данными;
- ОЗУ – оперативное запоминающее устройство, предназначенное для загрузки программы режима работы с последующим вычислением переменных функции воздействия и хранения их до завершения процедуры;
- СЭ – счетчик этапов, осуществляющий автоматическое формирование данных для передачи на фотонное поле из рассчитанных переменных функции воздействия, загружаемых из ОЗУ и соответствующих текущему этапу;
- ТАЙМЕР 1, обеспечивающий формирование

интервалов времени, равных по длительности этапам воздействия;

- ТАЙМЕР 2, формирующий интервалы времени, соответствующие продолжительности процедуры;
- ГТИ – генератор тактовых импульсов, синхронизирующий работу таймеров;
- ФОРМ. АДРЕСА – формирователь адресного пространства, формирующий адресное поле сегментов, к которым будут обращена текущая передача данных;
- ФОРМ. КОМАНД – формирователь команд, формирующий данные для управления сегментами фотонного поля;
- ПП 1 – приемопередатчик, преобразующий данные из параллельного кода в последовательный;
- ПИ 1 – преобразователь интерфейсов, обеспечивающий подключение микроконтроллера к общему каналу передачи данных фотонного поля;
- ПП 2 – приемопередатчик, обеспечивающий преобразование данных от ПЭВМ в значения переменных функции воздействия;
- ФИ – формирователь импульсов, преобразующий данные импульсной последовательности от диагностического прибора в значения переменных функции воздействия.

Кроме того в состав системы управления входят:

- ПУ – пульт управления, предназначенный для выбора режимов облучения и задания переменных функции воздействия;
- ЖКИ – жидкокристаллический индикатор, обеспечивающий отображение выбранных режимов и параметров задания переменных функции воздействия;
- ЗУММЕР – звуковой сигнализатор, обеспечивающий подачу звукового сигнала в начале и по окончании процедуры, а так же тоновый сигнал нажатия кнопок ПУ;

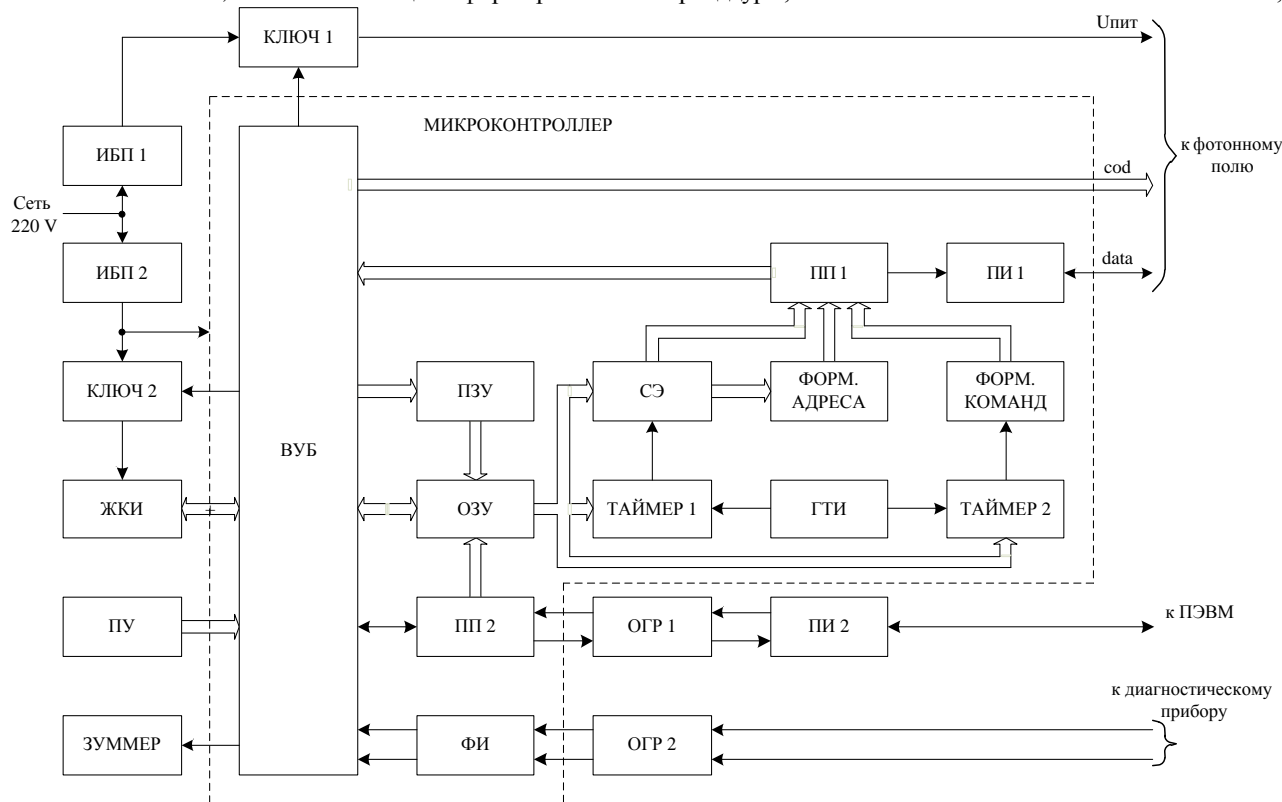


Рис. 3 Функциональная схема системы управления

- КЛЮЧ 1, обеспечивающий подключение напряжения питания к светодиодным группам во время процедуры;
- КЛЮЧ 2, обеспечивающий подключение подсветки ЖКИ в режиме задания параметров и в течение процедуры;
- ИБП 1 – импульсный блок питания, преобразующий переменное сетевое напряжение в постоянное для питания СДГ;
- ИБП 2 – импульсный блок питания, формирующий напряжение питания электронных компонентов системы управления и сегментов фотонного поля;
- ПИ 2 – преобразователь интерфейсов, обеспечивающий подключение системы управления к персональной ЭВМ с помощью кабеля USB;
- ОГР 1 – оптогальваническая развязка, исключая влияние сетевого напряжения ПЭВМ на работу системы и обеспечивающая защиту пациента от поражения электрическим током;
- ОГР 2 – оптогальваническая развязка, предназначенная для согласования уровней сигналов системы управления и диагностического прибора подключаемого к ней.

Система управления задает режим работы фотонного поля в соответствии с функцией воздействия, которая отображается на дисплее аппарата в виде предустановленных режимов. В общем виде эта функция может быть представлена как:

$$S(t) = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n P_{i,j}(t) \cdot \tau_{ПП}, \quad (1)$$

где $P_{i,j}(t)$ – мощность излучения, генерируемая одним сегментом фотонного поля в i столбце и j строке;

$\tau_{ПП}$ – продолжительность процедуры.

Мощность излучения, генерируемая одним сегментом, в каждый момент времени зависит от количества светодиодных групп, используемых в сегменте для облучения, и мощности излучения каждой светодиодной группы.

При этом функция воздействия может содержать несколько временных интервалов (этапов) в пределах которых закон изменения каждого параметра ЭМИ не изменяется. Количество этапов может устанавливаться произвольно. Кроме того, этапы могут циклически повторяться в течение всей процедуры. Для используемых сегментов фотонного поля мощность излучения будет определяться выражением:

$$P_{i,j}(t) = \sum_{l=1}^m P_{\max l} \cdot w_{l,b}(t), \quad (2)$$

где l – номер светодиодной группы в сегменте;

m – количество светодиодных групп в сегменте;

$P_{\max l}$ – максимальная мощность излучения, генерируемая в сегменте одной СДГ;

$w_{l,b}(t)$ – функция изменения мощности излучения светодиодной группы с номером l на этапе номер b ($b=1, \dots, z$);

z – количество этапов функции воздействия.

Подставив (2) в (1), получим полную функцию воздействия с большим количеством переменных, которые могут быть заданы пользователем фототерапевтического аппарата.

С одной стороны рассмотренный способ формирования воздействия ЭМИ существенно расширяет функциональные возможности аппарата, с другой стороны это ведет к усложнению задания самой функции воздействия и требует наличия ПЭВМ с соответствующим программным обеспечением [10].

Для каждого предустановленного режима в ПЗУ системы управления аппаратом записана функция воздействия в виде системы уравнений с начальными значениями переменных. После запуска режима на обработку осуществляется загрузка их в ОЗУ, и последующий расчет данных в ВУБ по уравнению.

Данные о продолжительности процедуры и каждого из этапов загружаются в соответствующие таймеры системы управления, а остальные данные передаются на фотонное поле.

На фотонное поле передаются данные трех видов, которые отличаются по своей структуре и сразу же идентифицируются микроконтроллером сегмента как:

- адресные данные, указывающие на область памяти в микроконтроллере;
- числовые данные, содержащие значения переменных функции воздействия, рассчитанные системой управления;
- команды, обеспечивающие настройку микроконтроллера на выбранный режим.

Передача данных о текущем этапе осуществляется по алгоритму, представленному на рис. 4.

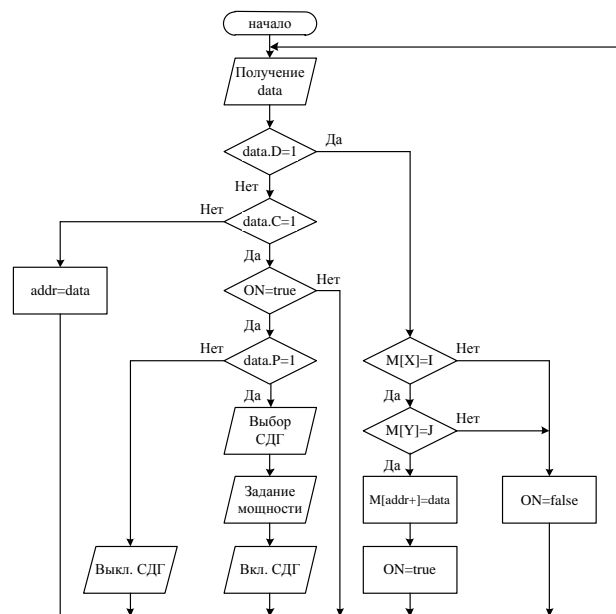


Рис. 4

Полученный байт данных $data$ проверяется по структуре $data.D$ на соответствие числовым данным. Если полученные данные являются числовыми, выполняется проверка на соответствие текущего значения адресного поля и номера положения сегмента в фотонном поле. При истинности результата проверки устанавливается флаг ON (адресация к текущему сегменту), данные записываются в зарезервированную область ОЗУ со строгим адресным расположением и с последующим увеличением адреса на единицу. В этой области ОЗУ $M[addr]$ размещены: адрес обращения по X ,

адрес по Y, байт подключаемых каналов и значение мощности по каждому каналу. При ложном результате флаг ON очищается, а данные игнорируются.

Если данные являются не числовыми, то производится их определение по структуре data.C принадлежности к данным команд или адреса. При истинном результате полученный байт является командой, а при ложном – адресом, который присваивается переменной addr.

Выполнение команды возможно только при условии взведенного флага ON (переданные данные относятся к этому сегменту). После этого по структуре data.P определяется операция включения светодиодных групп (Вкл. СДГ) или выключения (Выкл. СДГ). При включении выполняются процедуры выбора каналов сегмента фотонного поля и настройки мощности излучения каждой СДГ.

Такая система передачи данных позволяет быстро изменять необходимые переменные функции воздействия, в пределах текущего адресного поля, поскольку для этого достаточно указать лишь адрес изменяемой переменной, ее значение и команду на выполнение текущих параметров.

Данные адресного поля, передаваемые из системы управления, представляют собой битовое поле, в котором биты указывают на номер подключаемого сегмента. Устанавливая необходимые биты можно формировать адресное поле с обращением к любому количеству сегментов одновременно, что существенно ускорит процесс задания режимов фотонного поля.

Числовые данные значений переменных функции воздействия после выключения СДГ не обнуляются и могут быть повторно запущены одной командой.

Регулирование мощности ЭМИ в сегменте фотонного поля осуществляется методом широтно-импульсной модуляции напряжения питания с частотой равной 1 кГц. При таком значении частоты генерируемое излучение в фототерапии принято считать квазинепрерывным [3].

Отношение длительности импульса к периоду определяет значение средней мощности ЭМИ, генерируемой СДГ. Фронты всех импульсов питания СДГ синхронизированы, а длительности определяются значениями средней мощности, переданных от системы управления. Регулирование мощности производится лишь в светодиодных группах, каналы которых подключены, остальные каналы отключены, даже если для них и задано значение мощности.

Использование узконаправленных светодиодов и регулирование мощности ЭМИ позволяет осуществлять одновременное воздействие на кожные покровы и на зрительный орган с различной интенсивностью. Это возможно при реализации одновременно двух функций воздействия, каждая из которых имеет свое влияние на организм.

Высокая эффективность фототерапевтического воздействия достигается в аппарате, так же, за счет режимов биосинхронизации. Эти режимы предполагают изменение параметров ЭМИ синхронно с изменениями, какого либо ритмического показателя пациента.

Использование ПЭВМ позволяет осуществлять полный контроль за проведением процедуры путем

передачи данных о текущем состоянии пациента и параметрах воздействующего ЭМИ на него.

Так же в аппарате предусмотрена возможность проведения процедуры с изменением параметров «на лету», в зависимости от состояния пациента, с последующим сохранением всех данных.

В заключение можно отметить, что использование сложной мультимикропроцессорной системы управления в аппарате комплексной фототерапии позволяет реализовать самые различные известные фототерапевтические методики и без особого труда создавать новые. При этом независимое пространственное задание функции воздействия для любого сегмента фотонного поля позволяет осуществить селективное воздействие на определенные органы или систему органов с максимальным терапевтическим эффектом.

[1] Куличенко В.В., Чурсина А.И. Концепция метода комплексной фототерапии и предложения по его аппаратному обеспечению // Материалы XXXI научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии». – Харьков, 2009. – С.168-171.

[2] Фотонный полихромный безультрафиолетовый солярий для комплексной фототерапии с двухпроцессорной системой импульсного управления / Е.И. Сокол, А.В. Кипенский, В.В. Куличенко, А.М. Коробов // Технічна електродинаміка. Тем. вип. Силова електроніка та енергоефективність. – Ч. 4. – Київ: ІЕД НАНУ, 2008.– С. 101-107.

[3] Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии. – М.: НПЛЦ «Техника», 2003. – 256 с.

[4] Самосюк И.З., Лысенюк В.П., Лобода М.В. Лазеротерапия и лазеропунктура в клинической и курортной практике. – К.: Здоров'я, 1997. – 240 с.

[5] Куличенко В.В., Чурсина А.И. Режимы воздействия в фототерапии // Матеріали IV Університетської науково-практичної студентської конференції магістрантів Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» (23-25 березня 2010 р.). – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. –С. 184-186.

[6] Карандашов В.И., Петухов Е.Б., Зродников В.С. Квантовая терапия: Учебное пособие / Под ред. Н.Р. Палеева. – М.: ОАО «Издательство «Медицина», 2004. – 336 с.

[7] Коробов А.М., Коробов В.А., Лесная Т.А. Фототерапевтические аппараты Коробова серии «Барва». – Харьков.: ИПП «Контраст», 2006. – 176 с.

[8] Колесник Ю.И., Кипенский А.В. Квантовая электроника. Применение лазеров: Учеб. пособие. – Харьков, 2005. – 156 с.

[9] Применение светоизлучающих диодов с управляемым цветом свечения в аппаратах квантовой терапии / Е.И. Сокол, А.В. Кипенский, Ю.И. Колесник, И.В. Заяц // Применение лазеров в медицине и биологии. Материалы XXII Международной научно-практической конференции. – Ялта, 2004. – С. 144-145.

[10] Куличенко В.В. Перспективы использования вычислительной техники в лечебно-диагностических комплексах // Материалы XXIX Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии». – Харьков, 2008. – С. 222-224.