УДК 621.396

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЭФФЕКТА БИОУПРАВЛЕНИЯ В ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ФИЗИОТЕРАПЕВТИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЕ

[1]Макшаков С.Б., [2]Айдаров В.И., [1]Мингалиев Р.К., [3]Хизбуллин Р.Н., [1]Ворончихин В.Я.

[1]ОАО «Завод Элекон», Казань, e-mail: Stanislav.makshakov.54@mail.ru, Mingaliev_ravil@mail.ru;
[2]ГАУЗ «Республиканская клиническая больница» МЗ РТ, Казань, e-mail: Aidarov_vladimir@mail.ru;
[3]ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический институт», Казань, e-mail: robert.khizbullin@mail.ru

Авторский коллектив в данной статье рассматривает вопросы создания лазерных аппаратов, основанных на принципе биохроностимуляции. Предлагаются и описываются принципы функциональной схемы малогабаритного лазерного терапевтического аппарата с нетрадиционными видами модуляции излучения. Особенностью решаемой задачи являлось то, что принимаемые схемотехнические решения позволяют создать компактные аппараты, дающие возможность их применения не только стационарно, но и в амбулаторных и в полевых условиях. Используемая в производстве отечественная элементная база, имеет минимальную цену и обеспечивает традиционный монтаж. Авторскому коллективу удалось снизить мощность потребления, повысить эффективность использования аппаратуры в лечебном процессе за счет ряда инновационных научно обоснованных решений, подтверждённых тремя патентами Российской Федерации. Оригинальность решения обеспечена созданием унифицированной линейки малогабаритных лазерных аппаратов с варьируемыми функциональными схемами узлов, имеющих различные виды модуляции излучения.

Ключевые слова: лазерный терапевтический аппарат, биоритм, биохроностимуляция, биосинхронизация

TECHNICAL REALIZATION OF THE EFFECT OF BIOFEEDBACK IN THE DOMESTIC PHYSICAL THERAPY EQUIPMENT

Makshakov S.B., Aydarov V.I., Mingaliev R.K., Khizbullin R.N., Voronchikhin V.Y.

[1]Open Joint Stock Company «Zavod Elecon», Kazan, e-mail: Stanislav.makshakov.54@mail.ru, Mingaliev_ravil@mail.ru, Voronhixin_ Vladimir@mail.ru;
[2]LFC Gause «Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan», Kazan, e-mail: Aidarov_vladimir@mail.ru;
[3]VPO «Kazan State Power Engineering Institute», Kazan, e-mail: robert. khizbullinmail. ru

Authors of this article examines the creation of laser devices based on the principle biohronostimulyatsii. Offered and described the principles of functional circuit compact laser therapy device with non-traditional types of modulation of the radiation. The peculiarity of the problem being solved was that taken by the circuit solutions allow you to create compact devices that enable their use not only stationary but also in ambulatory and in the field. Used in the production of domestic electronic components, it has a minimum price and provides a traditional installation. Groups of authors managed to reduce power consumption, improve the efficiency of the equipment in the treatment process through a series of innovative science-based solutions confirmed 3 patents of the Russian Federation. The originality of the solutions provided by the creation of a unified line of compact laser devices with varying functional diagrams of nodes with different kinds of modulation of the radiation.

Keywords: laser therapy device, biorhythm, biohronostimulyatsiya, biosynchronization

Высокая потребность лечебных учреждений в недорогих и компактных физиотерапевтических аппаратах с оптимальными с точки зрения практического врача функциями и характеристиками является насущной и актуальной проблемой отечественного приборостроения. Необходимость шире внедрять лазерные технологии в практическую медицину безусловна. И для этих целей необходимо активизировать работы по созданию новых типов лазеров [2].

Для этого нужно оптимизировать функциональные схемы и конструктивные решения, которые позволяют уменьшить массогабаритные размеры аппаратуры. А также снизить потребляемую мощность, повысить эффективность использования в лечебном процессе за счет ряда инновационных научно обоснованных решений, сократить сроки запуска в производство, одновременно необходимо учесть требования к экологичности и утилизации при моральном старении аппаратуры.

Аппаратура нового поколения кроме массы, габаритов, энергопотребления, надёжности выдвигает такие требования, как безопасность, экологичность, мобильность, эффективность средств контроля и диагностики, эффективность исполнительных систем и технологических процессов, тиражируемость (массовость), экономичность, социальную значимость [1].

Цель – создание унифицированной линейки малогабаритных лазерных аппаратов с варьируемыми функциональными схемами узлов, с различными видами модуляций.

Совместная разработка специалистов радиотехнического отдела ОАО «Завод Элекон» (г. Казань) и ученых-медиков ГАУЗ «Республиканская клиническая больница» МЗ РТ позволила создать, апробировать в клинических условиях и запустить в производство новый тип аппаратов на основе эффекта биоуправления, подтверждённый патентами РФ [3, 4, 6].

Функциональная схема универсальной платы питания и управления выглядит представлена на рис. 1.

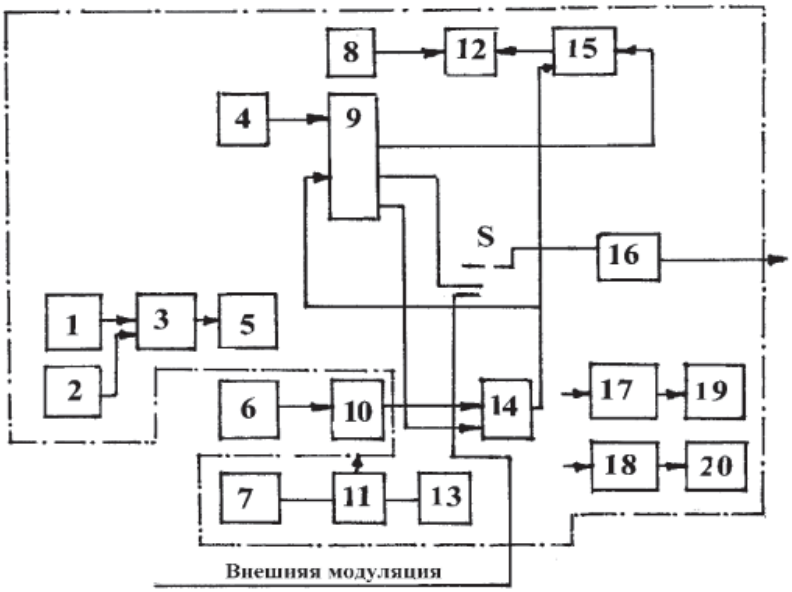

Рис. 1. Функциональная схема универсальной платы питания и управления:
1 – фотоприемник; 2 – источник порогового напряжения; 3 – компаратор;
4 – тактовый генератор; 5 – мнемонический индикатор; 6 – кнопка пуск; 7 – выпрямитель;
8 – генератор звуковой частоты; 9 – делитель частоты; 10 – ключ блокировки излучения;
11 – стабилизатор; 12 – звуковой излучатель; 13 – индикатор мнемонический;
14 – триггер; 15,16,17,18 – ключи; 19,20 – мнемонические индикаторы

Оригинальность данной платы состоит в том, что она позволяет с помощью разъемных соединителей пристыковывать взаимозаменяемые платы с самыми различными схемными решениями модуляции лазерного излучения, не изменяя при этом ее режимов и комплектации. Схема имеет выпрямитель (7), стабилизатор напряжения (11), имеющий выходное напряжение – 6 В, и мнемонический индикатор (13), визуально регистрирующий работу источника питания и расположенный на корпусе адаптера. Напряжение на выпрямитель поступает с малогабаритного трансформатора, расположенного внутри адаптера.

В схеме имеется пороговая система индикации наличия лазерного излучения: на фотоприемник (1), при подносе к нему лазерного щупа с лазерного излучателя и поступлении лазерного ИК излучения вырабатывается напряжение и поступает на вход компаратора (3). На другой из его входов поступает опорное напряжение (2), при срабатывании компаратора (2) зажигается мнемонический индикатор (5), расположенный на лицевой стороне адаптерного блока. Оригинальность платы состоит и в том, что она имеет и ключ блокировки излучения (10), которая позволяет делать работу аппарата недоступной для всех кроме лечащего врача. Ключ может блокировать работу R-S триггера и ключ (15) будет при этом закрыт и не допустит прохождение сигнала звуковой частоты на звуковой излучатель (12) с генератора звуковой частоты (8). Универсальность схемы состоит и в том, что она имеет свой тактовый генератор (4), сигналы которого, проходя через делитель частоты (9), представляют собой частоту 2 Гц и поступают через ключ 16 на функциональную схему блока стабилизации мощности излучения выносного лазерного модуля (рис. 2).

При необходимости установки дополнительной функциональной схемы с другими нетрадиционными видами модуляции их сигналы будут проходить через переключатель *S* непосредственно через входные цепи ключа (16), затем на его выход и с выхода на блок стабилизации мощности

излучения выносного лазерного модуля. Ключевые элементы (17) и (18) управляют мнемоническими индикаторами (19) и (20), визуально определяя начало и конец лечебной процедуры.

В аппарате типа АЛТП-2 применены три режима модуляции, наиболее часто используемые в физиотерапевтической практике, непрерывный режим, модуляция лазерного излучения и частота 2, 128 Гц, биомодуляция [6]. Патент РФ № 41704. В создаваемом аппарате функциональная схема, например шумовой модуляции (рис. 3), устанавливаемая дополнительно, и представляет одну из варьируемых схем с нетрадиционными видами модуляции, не вызывающими адаптацию организма к этому спектру частот.

б) примененный шумовой спектр сигнала с характеристикой $1/f$ (f = (0–20) кГц) – фликкер-шум – наиболее адекватен естественному тепловому шуму субстратов нормальной здоровой клетки. Для решения поставленной задачи и аппаратной реализации автоматизированного метода биоуправляемой световой хроностимуляции разработана математическая модель биосинхронизированного модулятора и представлена в работе в следующем виде:

$$P_{\text{вых. излуч}} = P_{\max}\left[K_{=} + K'_{\text{пер}}\left(X_1 \wedge X_2\right) + \right.$$

$$\left. + K''_{\text{пер}}\left(X_1 \,\&\, X_2\right)\right] \cdot K_{\text{мод}}\left(t\right),$$

где $P_{\text{вых. излуч}}$ – выходная мощность излучения; $P_{\max}$ – максимальная мощность

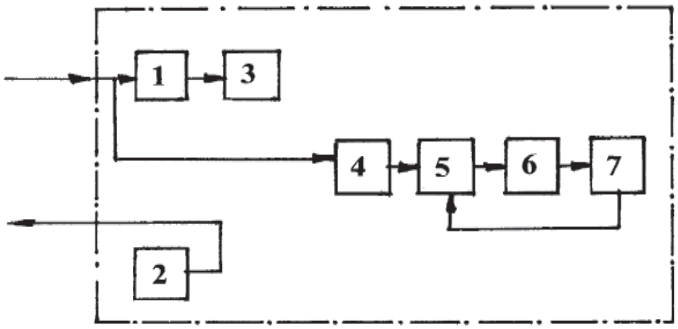

Рис. 2. Блок стабилизации мощности излучения:
1 – ключ; 2 – кнопка пуск; 3 – мнемонический индикатор; 4 – стабилизатор тока;
5 – усилитель тока; 6 – выходной усилитель тока; 7 – лазерный излучатель

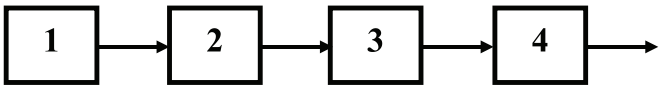

Рис. 3. Функциональная схема платы шумовой модуляции:
1 – тактовый генератор; 2 – формирователь псевдослучайной последовательности;
3 – фильтр розового шума; 4 – усилитель

Предложенная схема имеет на выходе усилитель (4), на входе усилителя установлен фильтр розового шума (3). Тактовый генератор (1) вырабатывает сигналы, которые поступают на формирователь псевдослучайной последовательности (2), с которого они со спектром белого шума поступают на фильтр (3).

Необходимость данного вида модуляции продиктована теми преимуществами, которые дает этот вид воздействия по сравнению с обычными видами лазерного излучения. К таким новым преимуществам необходимо отнести следующие:

а) само по себе случайное воздействие лазерным излучением полностью исключает адаптационное снижение чувствительности организма к лазерному излучению;

излучения; $K_{=}$ – коэффициент постоянной составляющей; $K_{\text{мод}}(t)$ – коэффициент, определяющий вид модуляции; X_1 – логическое значение пульса; X_2 – логическое значение фаз дыхания; функциональная схема платы биомодуляции приведена на рис. 4.

Преимущество и оригинальность схемы состоит в том, что она позволяет в автоматическом режиме на клеточном уровне синхронизировать увеличение интенсивности лазерного воздействия на клетку с фазами усиления энергетики клетки и гарантирует положительный ответ биосинтеза, лежащий в основе лечебного эффекта при этой разновидности лазерной терапии. Автоматический режим биосинхронизации обеспечивается следующим образом: датчик пульса, закрепленный на пальце пациента, с расположенными

в нем ИК (инфракрасным) излучателем (1) и фотоприемником (2), которые располагаются встречно к друг другу, обеспечивает регистрацию пульсовой волны через просвет пальца. Для этого на ИК излучатель (1) через АРУ (3) поступает необходимое напряжение с выхода усилителя (2). При прохождении пульсовой волны через кровеносные сосуды пальца происходит изменение оптической прозрачности, что вызывает изменение напряжения с фотоприемника (2). Этот сигнал с фотоприемника, проходя через усилитель (4) и проходя через полосовой фильтр (6), поступает на компаратор (9) и затем на модулятор (11), с выхода которого промодулированный сигнал с необходимыми характеристиками поступает через блок стабилизации мощности на лазерный излучатель.

Используемый в аппарате блок стабилизации мощности лазерного излучения (БСМИ-1М) имеет во входном каскаде стабилизатор тока, определяющий ток через лазерный модуль, а следовательно, и интенсивность лазерного излучения.

Учитывая это, была реализована следующая схема модулятора (рис. 5).

Схема работает следующим образом:

Генератор, собранный на ДД 1.4 по классической схеме, генерирует сигналы на частоте, определяемой постоянной времени, задаваемой элементами С2 и R7-R8 и регулируемой R8 на значение 10 Гц. Резистор R1 задает размах колебаний напряжения на конденсаторе С 1, определяющий диапазон девиации частоты 1 кГц на выходе ДД 1.4 ± Делитель R2R3. R4 определяет положение рабочей

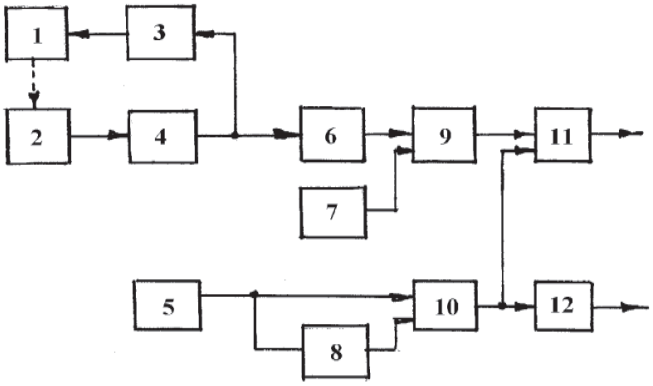

Рис. 4. Функциональная схема платы биомодуляции:
1 – ИК излучатель; 2 – фотоприемник; 3 – АРУ; 4 – усилитель; 5 – термодатчик;
6 – полосовой фильтр; 7 – источник опорного напряжения; 8 – интегратор; 9 – компаратор;
10 – дифференциальный усилитель; 11 – модулятор; 12 – управляеиый напряжением генератор

Другой канал биосинхронизации – дыхательный, также функционирует в автоматическом режиме. Для этого с терморезисторов, расположенных в датчике, фиксирующем носовое дыхание (5), изменяется проходящий ток, эти сигналы поступают на интегратор (8), затем через дифференциальный усилитель (10) на вход управляемого напряжением генератора (12), выход которого нагружен на второй логический вход модулятора (11). Глубина амплитудной модуляции суммарного сигнала с датчика пульса и датчика дыхания схемы составляет 30 %. В качестве несущей частоты в лазерной терапии используется частота (10 ± 3) Гц, что соответствует реальным биоритмам. В режиме биоуправления доза воздействия по сравнению с рекомендуемой уменьшается за счет снижения интенсивности во время выдоха и диастолы сердца пациента. Поэтому в режиме биоуправления возможно уменьшить мощность (интенсивность) в 2 раза [6]

точки второго входа ДД 1.4, в которой имеется зависимость частоты генерации от уровня входного напряжения. Частота с выхода ДД 1.4 подается на вход каскада БСМИ-1М, который разрешает или запрещает лазерное излучение (т.е. на вход модулятора). Таким образом, биполярный сигнал, подаваемый на вход 2 с выхода канала биосинхронизации дыханием, обеспечивает требуемую функцию модуляции лазерного излучения частотой 10 Гц с девиацией частоты ± 3 Гц. Аналоговая часть каналов биоуправления собрана на микросхеме КР1401УД2А, содержащая четыре операционных усилителя, на которых собраны усилители, фильтры и компараторы. Вся конструкция узла биоуправления закомпонована на печатной плате размером 58×55 мм, что обеспечило ее размещение в малогабаритном корпусе аппарата АЛТП-2, выполненного в виде сетевого адаптера. В качестве устройства, формирующего импульсы, синхронные с ритмом дыхания, предложена схема, приведенная на рис. 6.

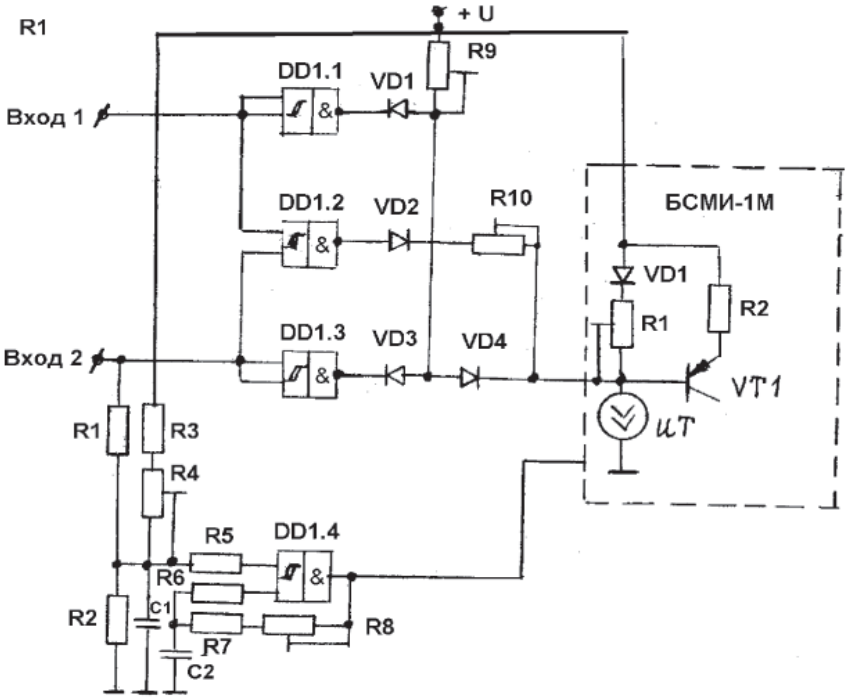

Рис. 5. Схема модулятора

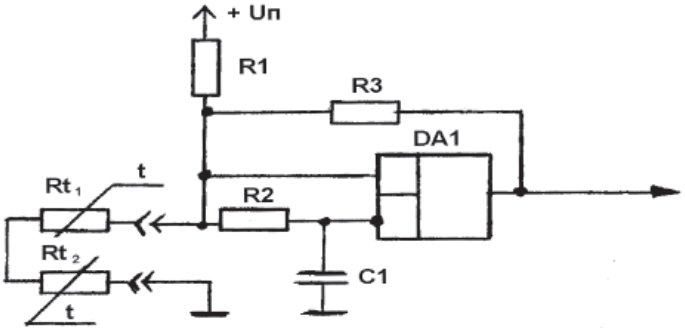

Рис. 6. Устройство формирования синхроимпульсов по сигналам дыхания

В этой схеме отслеживаемым параметром выбирается температура вдыхаемого и выдыхаемого воздуха через носовой канал. Температура отслеживается с помощью терморезисторов R_{t1} и R_{t2}, которые конструктивно оформлены в виде датчика, закрепленного около ноздрей человека [4, 5].

В качестве формирователя синхроимпульсов в приведенной схеме используется компаратор напряжения на микросхеме ДА 1, охваченный положительной обратной связью через резистор R3 для создания гистерезиса с целью исключения дребезга выходного сигнала в момент компарирования напряжения. Выходное напряжение делителя сравнивается с напряжением на конденсаторе С 1 интегрирующей цепи С1 R2, постоянная времени которой выбирается больше периода частоты дыхания и меньше постоянной времени изменения температуры окружающей среды. В качестве генератора девиации частоты используется один элемент триггера Шмидта микросхемы К561ТЛ1. Экспериментами было установлено, что генератор изменяет свою среднюю частоту при изменении уровня постоянного напряжения на втором входе вблизи порога компарирования, учитывая дополнительные ресурсы микросхемы в виде трех оставшихся незадействованных элементов, было принято решение реализовать вышеперечисленные функции на одной микросхеме. Это позволило оптимизировать данное схемотехническое решение. В качестве несущей частоты в биоуправляемом режиме лазерной терапии используется частота (10 ± 3) Гц, соответствующая ритму тремора мышц и элонгации. Эта частота не имеет фиксированного значения, а варьирует в диапазоне от 8 до 13 Гц, как и реальные биоритмы. Внешний вид аппарата с выносными датчиками пульса и дыхания показан на рис. 7.

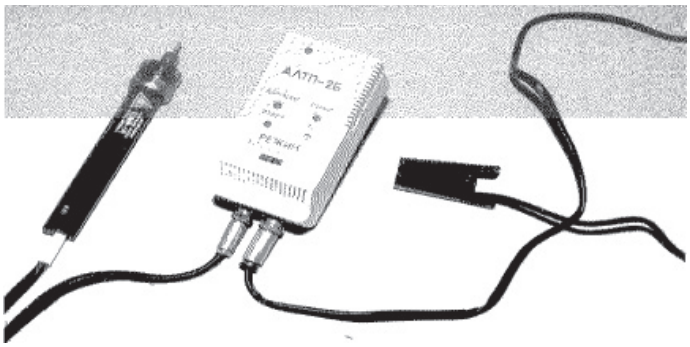

Рис. 7. Аппарат полупроводниковый лазерный с биомодуляцией лазерного излучения

Заключение

За последние годы свыше тысячи единиц аппаратов этой серии прошли приемочные технические и клинические испытания, имеют разрешение на серийное производство и медицинское применение МЗ РФ. В Республике Татарстан внедрены и эффективно используются в медицинских учреждениях 408 единиц данной аппаратуры.

Список литературы

1. Васильев А.В., Лучинин В., Мальцев П. Микросистемная техника. Материалы. Технологии. Элементная база // Электронные компоненты. – М., 2000. – № 4. – С. 10.

2. Ковш В.Б. Лазерный промышленный комплекс России: Состояние. Потенциал, потребность в государственной поддержке века // Лазер-Информ. Вып. № 10 (169). Лазерная ассоциация. – М., 1999. – С. 5–6.

3. Макшаков С.Б. Мингалиев Р.К. Хизбуллин Р.Н. и др. Аппарат лазерной терапии полупроводниковый // Патент РФ № 40588 МКПО 24-01.

4. Макшаков С.Б. Мингалиев Р.К. Хизбуллин Р.Н. и др. Аппарат полупроводниковый лазерный с биомодуляцией лазерного излучения // Патент РФ № 40583 МКПО 24-01.

5. Макшаков С.Б. Датчик дыхания для биосинхронизируемого аппарата лазерной терапии. Электронное приборостроение // Науч. практ. сбор. Вып. 3(31). – Казань: КГТУ (КАИ), 2003. – С. 69–71.

6. Ларюшин А.И., Новиков В.А., Быков Ю.В., Макшаков С.Б. и др. Аппарат лазерный терапевтический переносной / Патент РФ № 41704.

7. Хизбуллин Р.Н., Ворончихин В.Я. Оптико-электронные микромодули для физиотерапии // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. КГЭУ. – 1999. – № 9–10. – С. 84–92.

References

1. Vasil'ev A.V., Luchinin V., Mal'cev P. Mikrosistemnaja tehnika. Materialy. Tehnologii. Jelementnaja baza // Jelektronnye komponenty. M., 2000. no. 4. pp. 10.

2. Kovsh V.B. Lazernyj promyshlennyj kompleks Rossii: Sostojanie. Potencial, potrebnost' v gosudarstvennoj podderzhke veka // Lazer-Inform. Vyp. no. 10 (169). Lazernaja associacija. M., 1999. pp. 5–6.

3. Makshakov S.B. Mingaliev R.K. Hizbullin R.N. i dr. Apparat lazernoj terapii poluprovodnikovyj // Patent RF № 40588 MKPO 24-01.

4. Makshakov S.B. Mingaliev R.K. Hizbullin R.N. i dr. Apparat poluprovodnikovyj lazernyj s biomoduljaciej lazernogo izluchenija // Patent RF № 40583 MKPO 24-01.

5. Makshakov S.B. Datchik dyhanija dlja biosinhroniziruemogo apparata lazernoj terapii. Jelektronnoe priborostroenie // Nauch. prakt. sbor. Vyp. 3(31). Kazan': KGTU (KAI), 2003. pp. 69–71.

6. Larjushin A.I., Novikov V.A., Bykov Ju.V., Makshakov S.B. i dr. Apparat lazernyj terapevticheskij perenosnoj / Patent RF no. 41704.

7. Hizbullin R.N., Voronchihin V.Ja. Optiko-jelektronnye mikromoduli dlja fizioterapii // Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki. KGJeU. – 1999. no. 9–10. pp. 84–92.

Рецензенты:

Гарифуллин М.Ш., д.т.н., доцент кафедры ЭСиС, ФГБОУ ВПО «Казанский государственный энергетический институт», г. Казань;

Ибрагимов Я.Х., д.м.н., профессор кафедры травматологии и ортопедии, ГБОУ ДПО «Казанская государственная медицинская академия» МЗ РФ, г. Казань;

Мишин В.М., д.т.н., к.ф.-м.н., профессор кафедры «Строительство», ФГБОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», г. Владикавказ.