

# **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ** **И БИОТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

УДК 577.31: 615.849

Е.В. ШАЛОБАЕВ, А.В. ДУНАЕВ, О.Д. КОЗЫРЕВА

## **СКАНИРУЮЩАЯ ЛАЗЕРОТЕРАПИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ И МЕХАТРОННЫЕ АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕДИЦИНСКИХ УСТАНОВОК**

*В статье рассмотрен метод сканирующей лазерной низкоинтенсивной терапии, как один из методов современного физиотерапевтического лечения. Приведены особенности низкоинтенсивного лазерного излучения и на их основании описан принцип работы биологической обратной связи (БОС), также приведены примеры. БОС позволяют разрабатывать методы, которые дают возможность оперативного контроля состояния пациента, например диагностики кровотока до, во время и после сеанса лазерной терапии. Такие методы обеспечивают возможность адаптивной индивидуальной коррекции и оптимизации параметров воздействия в ходе сеанса и курса лечения. Указаны мехатронные аспекты медицинских установок на основе сканирующей лазерной терапии, что позволяет применить мехатронный подход при их проектировании, позволяющий повысить их качество.*

**Ключевые слова:** *низкоинтенсивная лазерная терапия, биологическая обратная связь, сканирующая лазерная терапия, медицинские мехатронные комплексы.*

### **Введение**

В последнее время в различных областях медицины все больше применяется лазеротерапия как лечение [1]. Лазеротерапия может быть использована как основной метод лечения, или в комбинации с другими методами, повышая тем самым их эффективность. Низкоинтенсивное лазерное излучение обладает такими свойствами, как монохроматичность, когерентность, высокая спектральная плотность мощности излучения, возможность простой фокусировки и т.д. Основными последствиями низкоинтенсивной лазерной терапии, которые определяют показания к лазеротерапии, являются: общий биостимулирующий эффект, повышение тонуса; усиление биоэнергетических процессов, нейтрализация катаболических сдвигов; нормализация иммунной, нервной и эндокринной систем; стимуляция репаративных процессов, заживления хронических язв. Эти и другие особенности низкоинтенсивного лазерного излучения делают лечебный прием универсальным и перспективным для большинства медицинских специальностей. Благодаря совершенствованию за последние годы аппаратуры для проведения лазеротерапии появилось большое количество приборов, обеспечивающих различные варианты трансмиссии лазерного излучения. Один из вариантов – транскутанный, различают контактное и бесконтактное облучение очага поражения.

### **Метод сканирующей лазеротерапии**

В данной статье рассмотрен метод сканирующей лазеротерапии, который заключается в бесконтактном воздействии сфокусированным лазерным лучом диаметром 3 мм и интенсивностью 20 мВт без потери мощности излучения на поверхность кожи с различной частотой сканирования [2, 3]. Облучение сфокусированным лучом дает возможность равномерно воздействовать дозированным излучением на каждую точку пораженной поверхности, но для этого луч должен перемещаться по всей поверхности, иными словами сканировать поверхность. Используя режим сканирования, можно обработать зону любой конфигурации. Воздействие на большие поверхности сфокусированным лучом обеспечивает передачу энергии излучения тканям за достаточно короткое время, так как за счет перемещения луча создаются условия для последовательного периодического воздействия и равномерного распределения энергии лазерного излучения в зоне обрабатываемой поверхности, что позволяет получить лечебный эффект.

При непрерывном излучении лазера создается импульсный режим облучения за счет пространственного перемещения луча для каждой отдельной точки поверхности. Это обеспе-

печивает благоприятный режим лечения. Благодаря сканирующему устройству (рефлектору) можно подобрать соответствующую фигуру сканирования в соответствии с площадью и состоянием поверхности, подлежащей лечению, то есть проводить лечение пациентов по индивидуальной программе. Немаловажно также то, что использование метода сканирующей лазеротерапии позволяет уменьшить уровень облучения медицинского персонала, так как после начальной настройки управление стимулятором осуществляется автоматически [4]. Было доказано, что данный метод лечения на уровне тканей и органов проявляется в стимуляции изменений рецепторной чувствительности, укорочении фазы воспаления, увеличении потребления тканями кислорода, улучшении микроциркуляции крови, активации транспорта веществ через сосудистые стенки.

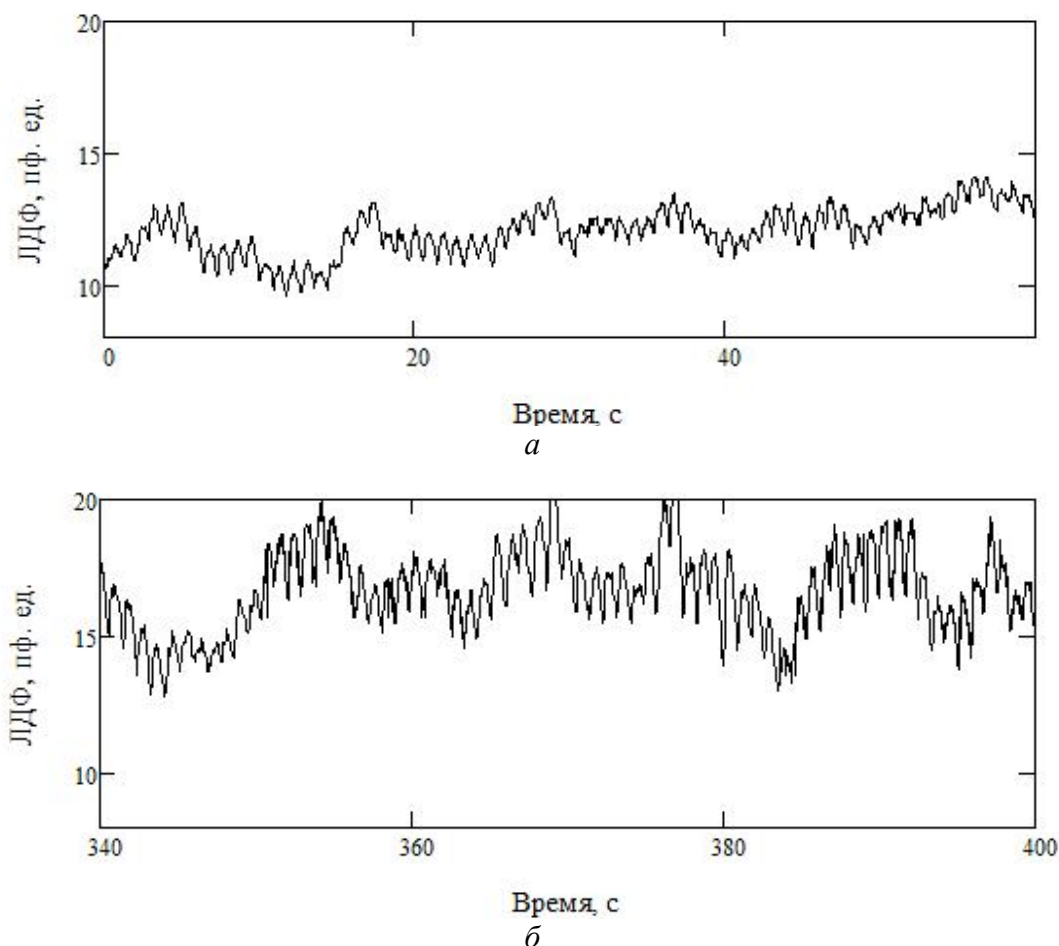
Результирующий фотобиологический эффект действия лазерного излучения на организм в целом выражается в противовоспалительной, регенеративной, иммунокорректирующей и бактериостатической реакциях, в улучшении региональной микроциркуляции в тканях и органах, нормализации липидного обмена [5].

Достоинством лазерной медицинской аппаратуры является возможность оперативно изменить параметров лазерного излучения для получения желаемого результата его воздействия, что достигается с помощью цепей биологической обратной связи [6]. С их помощью осуществляется оптимизация лазерного воздействия на биоткань, при котором физиотерапевтическое воздействие на ткани и органы является наиболее эффективным и атравматичным [2, 7, 8].

В последнее десятилетие в связи с интенсивным развитием оптических диагностических методов, таких как фотоплетизмография (ФПГ), пульсоксиметрия (SaO<sub>2</sub>), оптическая тканевая оксиметрия (ОТО), лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ), оптическая когерентная томография (ОКТ) и др., всё более актуальным становится вопрос о возможности их применения в качестве методов контроля эффективности лазеротерапии в режиме реального времени [9]. Связано это прежде всего с тем, что современные приборы оптической неинвазивной диагностики (ОНД) достаточно достоверно и легко могут регистрировать изменения в микроциркуляции и оксигенации крови, что в свою очередь является одним из ключевых моментов при оценке лечебного эффекта лазерного излучения, так как в медицинской литературе вопрос о стимуляции периферического кровообращения в тканях при лазеротерапии практически уже не вызывает споров [10, 11].

Одним из наиболее чувствительных методов регистрации динамики процессов микроциркуляции крови (МЦК) в биотканях по технологии ОНД является сегодня метод ЛДФ. Он позволяет определять среднюю перфузию тканей кровью, измеряемую в относительных перфузионных единицах (пф. ед.), на уровне микроциркуляторного русла биоткани, а также частотные ритмы процессов микрогемодинамики. Так, в ряде тестовых экспериментов для регистрации параметров МЦК использовался многофункциональный лазерный неинвазивный диагностический комплекс «ЛАКК-М» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва), обеспечивающий одновременные измерения как перфузии ткани кровью, так и сатурации оксигемоглобина в смешанной крови микроциркуляторного русла (StO<sub>2</sub>) и объёма фракции гемоглобина в зондируемой области по методу ОТО [12, 13]. На рисунке 1 представлены фрагменты зарегистрированных типичных ЛДФ-грамм до и после процедуры лазерной терапии на условно здоровом добровольце при облучении в области внутренней стороны предплечья со стороны локтевого сгиба. Таким образом, метод ЛДФ, как и другие технологии ОНД, являются перспективными для использования их в качестве биологической обратной связи по критерию отклика в системе микроциркуляции крови при низкоинтенсивной лазерной терапии.

Исследования механизмов взаимодействия низкоинтенсивного лазерного излучения с внутренней средой организма человека показали возможность наблюдения за изменением параметров крови, например, степенью насыщения крови кислородом, то есть степенью оксигенации крови. Измерение степени оксигенации крови необходимо при оценке работы сердечно-сосудистой системы и легких пациента. Измерение оксигенации можно проводить во время лазеротерапии при помощи оксиметров. Оксиметры могут работать в двух режимах: режим поглощения и режим отражения излучения. В случае отражения измеряется сигнал обратного рассеяния крови.



**Рисунок 1 – Примеры фрагментов типичных ЛДФ-грамм до (а) и после (б) процедуры лазеротерапии**  
 импульсная мощность – 7 Вт, частота – 30 кГц, длительность импульса – 200 нс,  
 площадь облучения – 2 см<sup>2</sup>, энергетическая экспозиция – 6,3 Дж/см<sup>2</sup>

Доказано, что в области длин волн 650-750 нм возможно проводить достаточно точные измерения степени оксигенации крови при помощи измерения интенсивности диффузно рассеянного излучения [14].

Также на основе исследования механизмов взаимодействия лазерного излучения с тканями человека при изучении схем поглощения, отражения и преломления можно сделать вывод о возможности построения систем биологических обратных связей на основе учета пульса, артериального давления и других параметров [15, 16]. В режиме биоуправления по сигналам с датчиков пульса и дыхания пациента интенсивность лазерного воздействия автоматически синхронизована с биоритмами кровенаполнения ткани, открытием капилляров над ансамблем клеток с повышенной в данный момент чувствительностью и энергообеспечением ответных реакций. Благодаря такому режиму резко расширяется диапазон положительных реакций клеток, увеличивается их чувствительность, уменьшается вероятность передозировки. Такой режим лазерной терапии гарантирует лечебный эффект для всех пациентов при условии его грамотной технической реализации [17].

В настоящее время разрабатывается методика автоматизированной коррекции гемодинамических расстройств, которая заключается в формировании управляющего сигнала (отвечающего за мощность и позиционирование лазера) для лазерной установки на основе разницы между эталонной реограммой и реограммой пациента (участка тела) в режиме реального времени [18]. Предлагаемая методика должна позволить более эффективно использовать методы лазерной терапии при лечении нарушений кровотока. Методика рассчитана на основе численного эксперимента с помощью методов математического моделирования. В качестве эталонного сигнала использовалась типовая реограмма, соответствующая пульсу с

частотой 75 ударов в минуту. Метод дает возможность оперативного контроля состояния пациента и диагностики кровотока до, во время и после сеанса лазерной терапии. Разработка обеспечивает возможность адаптивной индивидуальной коррекции и оптимизации параметров воздействия в ходе сеанса и курса лечения.

### **Мехатронные аспекты проектирования медицинских установок на основе сканирующей лазеротерапии**

В соответствии с действующим в России определением мехатроники, это область науки и техники, основанная на системном объединении узлов точной механики, датчиков состояния внешней среды и самого объекта, источников энергии, исполнительных механизмов, усилителей, вычислительных устройств (ЭВМ и микропроцессоры).

Мехатронная система – единый комплекс электромеханических, электрогидравлических, электронных элементов и средств вычислительной техники, между которыми осуществляется постоянный динамически меняющийся обмен энергией и информацией, объединенный общей системой автоматического управления, обладающей элементами искусственного интеллекта.

Участие в разработке рассматриваемой в публикации медицинской установки позволило авторам наполнить содержанием предлагаемый в работе [19] термин «мехатронные комплексы».

С точки зрения идеологии мехатроники рассматриваемая в работе медицинская установка представляет собой распределенную систему, не имеющую единого корпуса (рис. 2). Ранее такие системы, не только в медицине, но и в других отраслях рассматривались как системы лишь с элементами мехатроники, как например, в работе [20]. Даже был введен в научный оборот термин «мехатронизированный объект» [21], а позднее – термин «объект с элементами мехатроники» [22].

Однако в данном рассматриваемом случае имеет место именно «мехатронный комплекс», определяемый как совокупность элементов, связанных конкретной общей целью.

В соответствии с развитием мехатроники как науки, в работах (например, [23, 24]) показано, что такие установки относятся к мехатронным комплексам по определению. Указание на подобный вывод очень важно потому, что при проектировании таких установок необходимо вести разработку всех составляющих ее частей параллельно, то есть, иначе говоря, используя мехатронный подход при проектировании, чтобы получить максимальный качественный эффект.

Здесь необходимо сделать ряд замечаний.

Первое: мехатронный и системный подходы не являются синонимами. Мехатронный подход – частный случай системного подхода, поскольку в определении мехатроники есть такая обязательная характеристика как синергетическое единство.

Второе необходимое замечание: в мехатронных комплексах могут использоваться мехатронные модули, то есть унифицированные узлы. Именно они представляют собой синергетически нерасторжимые без потери качества элементы. Иначе говоря, они неремонтопригодные. Комплексы же отличаются от модулей их составляющих, тем, что модули могут быть заменены, то есть налицо ремонтпригодность. Именно в этом принципиальное различие мехатронных систем разных уровней сложности, которыми и являются комплекс и модуль.

Указанный в публикации мехатронный подход при проектировании рассматриваемых медицинских установок должен будет учитывать именно этот аспект.

И дело здесь не просто в применении тех или иных терминов, а в совершенно разных подходах при проектировании, именно с этой целью и написана данная статья.

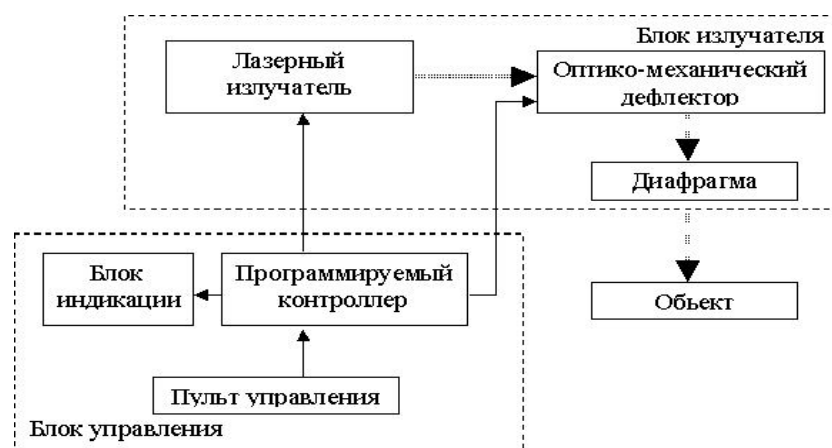


Рисунок 2 – Структурная схема лазерных сканирующих стимуляторов

### Заключение

Подчеркнутые в работе мехатронные аспекты медицинских лазерных установок, использующих биологические обратные связи, требуют применения мехатронного подхода при проектировании.

Указанный подход, как уже указывалось выше, позволяет вести параллельное проектирование, которое позволяет повысить качество получаемой продукции с учетом особенности применения мехатронного подхода в случае комплекса. Таким образом, новое поколение программно-аппаратных лечебно-диагностических устройств, обладающее качественно новым свойствами и заявленное в работе [25], будет реализовано на практике.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дунаев, А.В. Лазерные терапевтические устройства: учеб. пособие / А.В. Дунаев, А.Р. Евстигнеев, Е.В. Шалобаев / под ред. К.В. Подмастерьева. – Орел-Калуга-СПб.: ОрелГТУ. – 2005. – 173 с.
2. Сканирующие лазерные датчики в системе диагностики и лечения заболеваний // В.Т. Ефименко, Е.В. Шалобаев, А.В. Ефименко, Г.Н. Юркова / Датчики и системы. – 2001. – № 11. – С. 47-49.
3. Лазерные стимуляторы / Е.В. Шалобаев, Г.Н. Юркова, В.Т. Ефименко, А.В. Ефименко // Датчики и системы. – 2001. – № 8. – С. 53-54.
4. Шалобаев, Е.В. Проблемы лазерной терапии: сканирующая лазеротерапия и сканирующие лазерные стимуляторы / Е.В. Шалобаев, А.В. Дунаев, О.Д. Козырева // Сб. тр. II Всерос. конгресса молодых ученых. – СПб.: НИУ ИТМО. – 2013. – С. 66-67.
5. Беликов, А.В. Лазерные биомедицинские технологии (часть 1) / А.В. Беликов, А.В. Скрипник. – СПб.: СПбГУ ИТМО. – 2008. – 97 с.
6. Управление в биотехнической системе / Е.В. Шалобаев, Г.Н. Юркова, В.Т. Ефименко и [др.] // Матер. III междунар. конф.: Управление в технических системах 13-14 ноября 2000 г. – Ковров: КГТА. – 2000. – С. 89-91.
7. Лазеротерапия в комплексном лечении сосудистой патологии нижних конечностей / Н.В. Леонтьева, В.П. Золотницкая, Я.В. Дмитриева, А.В. Ефименко // Медицинский академический журнал. – 2001. – № 1. – С. 39-40.
8. Леонтьева, Н.В. Рекомендации для медицинского персонала по практическому применению стимулятора лазерного сканирующего физиотерапевтического СЛСФ-01.20К / Н.В. Леонтьева / под ред. Н.Н. Петрищева и В.Т. Ефименко. – СПб.: ГМУ-НПО СКАЛА. – 1999. – 36 с.
9. Дунаев, А.В. К вопросу о возможности использования методов неинвазивной спектрофотометрии для контроля эффективности низкоинтенсивной лазерной терапии / А.В. Дунаев, Д.А. Рогаткин // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2009. – № 3/275 (561). – С. 110-115.
10. Рогаткин, Д.А. Низкоинтенсивная лазерная терапия. Взгляд физика на механизмы действия и опыт применения / Д.А. Рогаткин, Д.А. Черный // Взаимодействие излучения с веществом. – Материалы 2-й Байкальской школы по фундаментальной физике. – Иркутск: ИГУ. – 1999. – С. 366-378.
11. Дунаев, А.В. Физико-технические основы низкоинтенсивной лазерной терапии / А.В. Дунаев. – LAP. – 2012. – 296 с.
12. Динамика изменений параметров микроциркуляции крови и температуры биоткани при низкоинтенсивной лазерной терапии / А.В. Дунаев, Е.А. Жеребцов, Д.А. Рогаткин, К.С. Литвинова, М.И. Щербаков // Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии. – Владимир: ВлГУ. – 2010. – С. 67-70.
13. Rogatkin, D.A. Stimulation of Blood Microcirculation at Low Level Laser Therapy: Monitoring Tools and Preliminary Data / D.A. Rogatkin, A.V. Dunaev // Journal of Medical Research and Development. – 2014. – Vol. 3, Iss. 1. – P. 100-106.

14. Козырева, О.Д. Исследование влияния степени оксигенации крови на сигнал обратного рассеяния излучения при помощи численного моделирования / О.Д. Козырева, А.Е. Пушкарева // Сб. тез. докл. конгресса молодых ученых. – СПб.: НИУ ИТМО. – 2014. – № 3.
15. Проблемы создания биологических обратных связей и их применение в сканирующих лазерных медицинских установках / Е.В. Шалобаев, Г.Н. Юркова, Ю.С. Монахов, В.Т. Ефименко, А.В. Ефименко, С.Ф. Корндорф, А.В. Дунаев // Известия ОрелГТУ. Сер. «Машиностроение. Приборостроение». – 2003. – № 4. – С. 94-97.
16. Применение биологических обратных связей и средств томографии в лазерных сканирующих физиотерапевтических установках / Е.В. Шалобаев, Н.В. Леонтьева, Ю.С. Монахов, А.В. Ефименко, К.В. Подмас-терьев, А.В. Дунаев // Технологии живых систем. – 2009. – № 4. – С. 66-72.
17. Загускин С.Л., Загускина С.С. Критерии оптимальности параметров лазерной терапии // Материалы Международной конференции «Лазерные и информационные технологии в медицине XXI века», II часть. – СПб.: МГУ им. И.П.Павлова. – 2001. – С. 349-350.
18. Модель динамического управления лазерным лучом и кровотоком на основе биологической обратной связи / В.Н. Баранов, П.В. Пикинеров, М.С. Бочков, А.С. Качалин // Инженерный вестник Дона. – 2014. – № 1. – [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_22\\_Baranov.pdf\\_2226.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_Baranov.pdf_2226.pdf). Дата обращения 15.03.2014.
19. Шалобаев, Е.В. Теоретические и практические проблемы развития мехатроники / Е.В. Шалобаев // Сб. «Современные технологии» / под. ред. С.А. Козлова. – СПб.: ГУИТМО. – 2001. – С. 46-66.
20. Шалобаев, Е.В. К вопросу об определении мехатроники и иерархия мехатронных объектов / Е.В. Шалобаев // Датчики и системы. – 2001. – № 7. – С. 64-67.
21. Shalobaev, E.V. Mechatronics: Today Problems and Development trends of Terminology / E.V. Shalobaev // Proceeding 23<sup>th</sup> Working Meeting of the IFToMM Permanent Commission for Standardization of Terminology on MMS. – Minsk-Gomel. – Belarus. – June 21 – June 26. – 2010. – P. 111-118.
22. Петров, С.Ю., Шалобаев Е.В. Универсальные регистрирующие и показывающие приборы как элемент иерархии мехатронных объектов / С.Ю. Петров, Е.В. Шалобаев // Мехатроника. – 2001. – № 5. – С. 29-34.
23. Шалобаев, Е.В. Терминологические аспекты современной мехатроники / Е.В. Шалобаев, Р.-Т. Толочка // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологий. – 2013. – № 5. – С. 122-133.
24. Шалобаев, Е.В. Современное состояние и перспективы развития основных понятий в области мехатроники / Е.В. Шалобаев, Р.-Т. Толочка // Научно-технический вестник информационных технологий механики и оптики. – 2014. – № 1. – С. 156-165.
25. Загускин, С.Л. Новое поколение программно-аппаратных лечебно-диагностических устройств / С.Л. Загускин // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 8. – С. 69-75.

### **Шалобаев Евгений Васильевич**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург  
Кандидат технических наук, профессор  
Тел.: дом. (812) 592-02.94, моб. +7-921-988-00-86  
E-mail: shalobaev47@mail.ru

### **Дунаев Андрей Валерьевич**

ФГБОУ ВПО «Госунiversитет – УНПК», Орел  
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборостроение метрология и сертификация», ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Биомедицинская инженерия»  
Тел.: (4862) 41-98-76, +7-919-261-99-06  
E-mail: dunaev@bmcencenter.ru

### **Козырева Ольга Дмитриевна**

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, г. Санкт-Петербург  
Студент  
Тел.: +7 921 989 50 85  
E-mail: kozyreva.o@list.ru

---

E.V. SHALOBAEV, A.V. DUNAEV, O.D. KOZYREVA

## **SCAN LASER THERAPY WITH THE USE OF BIOLOGICAL FEEDBACKS AND MECHATRONIC ASPECTS DESIGN OF MEDICAL DEVICES**

*The article describes the method of scanning laser therapy as one of the modern methods of treatment. The peculiarities of low-intensity laser radiation, and their basis the principle of operation of the biological feedback, as examples. Biological feedback loops make it possible to develop methods that allow you to control the condition of the patient, such as diagnosis of blood flow before, during and after your session of laser therapy. Such methods enable adaptive individual correction and optimization of pressure during the session and the course of treatment. Are mechatronic aspects of medical facilities based on scanning laser therapy, that allows to apply a mechatronic approach at designing, allowing to raise their quality.*

**Keywords:** *Low Level Laser Therapy, biofeedback, scanning laser therapy, medical and mechatronic systems*

## BIBLIOGRAPHY

1. Dunaev, A.V. Lazernye terapevticheskie ustrojstva: ucheb. posobie / A.V. Dunaev, A.R. Evstigneev, E.V. Shalobaev / pod red. K.V. Podmaster'eva. – Orel-Kaluga-SPb.: OrelGTU. – 2005. – 173 s.
2. Skanirujushhie lazernye datchiki v sisteme diagnostiki i lechenija zabolevanij // V.T. Efimenko, E.V. Shalobaev, A.V. Efimenko, G.N. Jurkova / Datchiki i sistemy. – 2001. – № 11. – С. 47-49.
3. Lazernye stimulatory / E.V. Shalobaev, G.N. Jurkova, V.T. Efimenko, A.V. Efimenko // Datchiki i sistemy. – 2001. – № 8. – С. 53-54.
4. Shalobaev, E.V. Problemy lazernoj terapii: skanirujushhaja lazeroterapija i skanirujushhie lazernye stimulatory / E.V. Shalobaev, A.V. Dunaev, O.D. Kozyreva // Sb. tr. II Vseros. kongressa molodyh uchenyh. – SPb.: NIU ITMO. – 2013. – S. 66-67.
5. Belikov, A.V. Lazernye biomedicinskie tehnologii (chast' 1) / A.V. Belikov, A.V. Skripnik. – SPb.: SPbGU ITMO. – 2008. – 97 s.
6. Upravlenie v biotehnicheskoy sisteme / E.V. Shalobaev, G.N. Jurkova, V.T. Efimenko i [dr.] // Mater. III mezhdunar. konf.: Upravlenie v tehniceskix sistemah 13-14 nojabrja 2000 g. – Kovrov: KGTA. – 2000. – S. 89-91.
7. Lazeroterapija v kompleksnom lechenii sosudistoj patologii nizhnih konechnostej / N.V. Leont'eva, V.P. Zolotnickaja, Ja.V. Dmitrieva, A.V. Efimenko // Medicinskij akademicheskij zhurnal. – 2001. – № 1. – S. 39-40.
8. Leont'eva, N.V. Rekomendacii dlja medicinskogo personala po prakticheskomu primeneniju stimulyatora lazernogo skanirujushhego fizioterapevticheskogo SLSF-01.20K / N.V. Leont'eva / pod red. N.N. Petri-shheva i V.T. Efimenko. – SPb.: GMU-NPO SKALA. – 1999. – 36 s.
9. Dunaev, A.V. K voprosu o vozmozhnosti ispol'zovanija metodov neinvazivnoj spektrofotometrii dlja kontrolja jeffektivnosti nizkointensivnoj lazernoj terapii / A.V. Dunaev, D.A. Rogatkin // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii. – 2009. – № 3/275 (561). – S. 110-115.
10. Rogatkin, D.A. Nizkointensivnaja lazernaja terapija. Vzgljad fizika na mehanizmy dejstvija i opyt primenenija / D.A. Rogatkin, D.A. Chernyj // Vzaimodejstvie izluchenija s veshhestvom. – Materialy 2-j Bajkal'-skoj shkoly po fundamental'noj fizike. – Irkutsk: IGU. – 1999. – S. 366-378.
11. Dunaev, A.V. Fiziko-tehnicheskie osnovy nizkointensivnoj lazernoj terapii / A.V. Dunaev. – LAP. – 2012. – 296 c.
12. Dinamika izmenenij parametrov mikrocirkuljacii krovi i temperatury biotkani pri nizkointensivnoj lazernoj terapii / A.V. Dunaev, E.A. Zherebcov, D.A. Rogatkin, K.S. Litvinova, M.I. Shherbakov // Fizika i radioelektronika v medicine i jekologii. – Vladimir: VIGU. – 2010. – S. 67-70.
13. Rogatkin, D.A. Stimulation of Blood Microcirculation at Low Level Laser Therapy: Monitoring Tools and Preliminary Data / D.A. Rogatkin, A.V. Dunaev // Journal of Medical Research and Development. – 2014. – Vol. 3, Iss. 1. – R. 100-106.
14. Kozyreva, O.D. Issledovanie vlijanija stepeni oksigenacii krovi na signal obratnogo rassejanija izluchenija pri pomoshhi chislennoogo modelirovanija / O.D. Kozyreva, A.E. Pushkareva // Sb. tez. dokl. kongressa molodyh uchenyh. – SPb.: NIU ITMO. – 2014. – № 3.
15. Problemy sozdanija biologicheskix obratnyh svjazej i ih primenenie v skanirujushhix lazernyx medicinskix ustanovkah / E.V. Shalobaev, G.N. Jurkova, Ju.S. Monahov, V.T. Efimenko, A.V. Efimenko, S.F. Korndorf, A.V. Dunaev // Izvestija OrelGTU. Ser. «Mashinostroenie. Priborostroenie». – 2003. – № 4. – S. 94-97.
16. Primenenie biologicheskix obratnyh svjazej i sredstv tomografii v lazernyx skanirujushhix fizioterapevticheskix ustanovkah / E.V. Shalobaev, N.V. Leont'eva, Ju.S. Monahov, A.V. Efimenko, K.V. Podmas-ter'ev, A.V. Dunaev // Tehnologii zhivyh sistem. – 2009. – № 4. – S. 66-72.
17. Zaguskin S.L., Zaguskina S.S. Kriterii optimal'nosti parametrov lazernoj terapii // Materialy Mezhdunarodnoj konferencii «Lazernye i informacionnye tehnologii v medicine XXI veka», II chast'. – SPb.: MGU im. I.P.Pavlova. – 2001. – S. 349-350.
18. Model' dinamicheskogo upravlenija lazernym luchom i krovotokom na osnove biologicheskoy obratnoj svjazi / V.N. Baranov, P.V. Pikinerov, M.S. Bochkov, A.S. Kachalin // Inzhenernyj vestnik Dona. – 2014. – № 1. – [Jelektronnyj resurs] Rezhim dostupa: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_22\\_Baranov.pdf\\_2226.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_Baranov.pdf_2226.pdf). Data obrashhenija 15.03.2014.
19. Shalobaev, E.V. Teoreticheskie i prakticheskie problemy razvitija mehatroniki / E.V. Shalobaev // Sb. «Sovremennye tehnologii» / pod. red. S.A. Kozlova. – SPb.: GUITMO. – 2001. – S. 46-66.

20. Shalobaev, E.V. K voprosu ob opredelenii mehatroniki i ierarhija mehatronnyh ob#ektov / E.V. Shalobaev // Datchiki i sistemy. – 2001. – № 7. – S. 64-67.
21. Shalobaev, E.V. Mechatronics: Today Problems and Development trends of Terminology / E.V. Shalobaev // Proceeding 23th Working Meeting of the IFToMM Permanent Commission for Standardization of Terminology on MMS. – Minsk-Gomel. – Belarus. – June 21 – June 26. – 2010. – P. 111-118.
22. Petrov, S.Ju., Shalobaev E.V. Universal'nye registrirujushhie i pokazyvajushhie pribory kak jelement ierarhii mehatronnyh ob#ektov / S.Ju. Petrov, E.V. Shalobaev // Mehatronika. – 2001. – № 5. – C. 29-34.
23. Shalobaev, E.V. Terminologicheskie aspekty sovremennoj mehatroniki / E.V. Shalobaev, R.-T. Tolochka // Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologij. – 2013. – № 5. – S. 122-133.
24. Shalobaev, E.V. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija osnovnyh ponjatij v oblasti mehatroniki / E.V. Shalobaev, R.-T. Tolochka // Nauchno-tehnicheskij vestnik informacionnyh tehnologij mehaniki i optiki. – 2014. – № 1. – S. 156-165.
25. Zaguskin, S.L. Novoe pokolenie programmno-apparatnyh lechebno-diagnosticheskikh ustrojstv / S.L. Zaguskin // Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki. – 2010. – № 8. – C. 69-75.

**Shalobaev Evgeniy Vasil'evich**

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg  
Candidate of Technical Sciences, Professor  
Tel.: (812) 592-02.94, +7-921-988-00-86  
E-mail: shalobaev47@mail.ru

**Dunaev Andrey Valer'evich**

State University – Education Science Production Complex, Orel  
Candidate of Technical Sciences, associate professor of “Instrument Engineering Metrology and Certification”, leading research fellow of Scientific-Educational Center “Biomedical Engineering”  
Tel.: +7 4862 41 98 76, +7-919-261-99-06.  
E-mail: dunaev@bmcencenter.ru

**Kozyreva Olga Dmitrievna**

St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, St. Petersburg  
Student  
Tel.: +7 921 989 50 85  
E-mail: kozyreva.o@list.ru