

5. ПРИМЕНЕНИЕ ЛАЗЕРОВ В МЕДИЦИНЕ

Низкоэнергетическое лазерное излучение (НЭЛИ) находит все более широкое применение в различных областях медицины благодаря высокой терапевтической эффективности, отсутствию осложнений и побочных эффектов. Сегодня НЭЛИ используется с диагностической и лечебной целью более чем в тридцати медицинских специальностях. При этом треть мировой лазерной продукции относится к приборам и аппаратам медицинского назначения [7].

5.1. ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛАЗЕРНОЙ МЕДИЦИНЫ

Первый лазерный аппарат был создан в 1960 г. а уже в 1962 г. лазер на кристалле искусственного рубина был применен в США для лечения сетчатки глаза. В середине 60-х годов прошлого века при помощи аналогичных лазеров в клиниках Москвы, Одессы и Куйбышева (ныне Самара) было успешно проведено лечение пациентов с отслоением сетчатки глаза путем ее точечной «припайки».

Лечение пациентов с глаукомой осуществлялось лазерным импульсом посредством формирования канала для слезной жидкости в передней глазной камере, что обеспечивало стабилизацию внутриглазного давления. Лазерная фотокоагуляция использовалась для лечения меланомы сосудистой оболочки глаза.

С 1965 г. в Институте проблем онкологии Украины было развернуто широкое изучение биологического и противоопухолевого действия лазерного излучения. В том же году появились первые публикации по применению лазеров в дерматологии.

Уникальные свойства лазерного излучения привлекли внимание ученых медико-биологического профиля. В результате этого были начаты исследования этого излучения на живой организме.

С конца 60-х годов прошлого века НЭЛИ начало применяться в хирургии для предоперационной подготовки и послеоперационной терапии, с 1970 г. – в стоматологии, с 1974 г. – в кардиохирургии.

В 1974 г. Министерство здравоохранения СССР выдало разрешение на серийное производство и применение первого *аппарата лазерной терапии* (АЛТ). Это событие можно считать началом развития лазерной терапии как самостоятельного направления медицины. С тех пор было зарегистрировано несколько сотен АЛТ и десятки методик клинического применения НЭЛИ.

В середине 70-х годов прошлого века было установлено усиление терапевтического эффекта НЭЛИ при одновременном воздействии на облучаемый участок постоянным магнитным полем. Так было положено начало разработке методов сочетанного действия НЭЛИ с другими видами энергии, применяемой в физиотерапии.

Первые публикации об использовании низкоинтенсивных гелий-неоновых лазеров (ГНЛ) для проведения лазерной терапии в офтальмологии относятся к 1978 г. В гинекологии практическое применение лазеров началось с использования излучения ГНЛ для воздействия на рефлексогенные зоны и точки акупунктуры у пациенток с хроническими воспалительными процессами придатков матки.

В 1978 г. во 2-ом Московском медицинском институте была начата разработка метода внутрисосудистого облучения крови ГНЛ с помощью световодов. В 1981 г. группа советских ученых была удостоена Государственной премии СССР в области науки и техники за создание, разработку и внедрение в клиническую практику новых лазерных хирургических средств и новых лазерных методов хирургического лечения в абдоминальной, гнойной и пластической хирургии.

К 1985 г. лазерная терапия находит новое применение в клинической практике при лечении злокачественных новообразований, где НЭЛИ приводит к изменению свойств препаратов, вводимых парентерально и обладающих статическим действием по отношению к тканям опухоли. Этот метод получил название фотодинамическая терапия.

В 80-х годах прошлого века в Москве создается НИИ лазерной медицины под руководством академика О.К. Скобянина. В 1989 г. Государственной премии СССР была удостоена группа ученых за разработку методики лечения ишемической болезни сердца на основе интракорпорального облучения крови лазерным излучением.

В 1991 г. на базе всемирно известного предприятия космического приборостроения Особого Конструкторского бюро Московского энергетического института было создано Производственно-конструкторское предприятие гуманитарных информационных технологий, ныне известное как Акционерное общество «МИЛТА – ПКП ГИТ», которое является ведущим предприятием России в области квантовой медицины.

АО «МИЛТА – ПКП ГИТ» входит в состав ассоциации «Квантовая медицина», которая сегодня объединяет более пятидесяти компаний, предприятий, организаций и медицинских учреждений, непосредственно в нее входящих или тесно с ней сотрудничающих.

Кроме того, в России существует еще несколько фирм, которые занимаются разработкой и изготовлением медицинских лазерных аппаратов. Среди них можно отметить Научно-производственный лазерный центр

«Техника», Научно-производственное предприятие «ЛАЗМА» (г. Москва), ГУП «КБ приборостроения» (г. Тула).

В Европе для координации действий разработчиков и пользователей лазерной медицинской техники была создана ассоциация «Association Europeenne du Laser», в составе которой более 15 стран. В США вопросами лазерной медицины занимается общество «American Society for Laser Medicine and Surgery».

В Украине в настоящее время основная работа, направленная на повышение эффективности использования лазеров и других источников света в медицине, планируется и координируется организациями: Проблемной комиссией Министерства здравоохранения и Академии медицинских наук «Лазерные технологии в медицине»; НИИ лазерной биологии и лазерной медицины (г. Харьков, директор к. ф-м. н. Коробов А.М.); Харьковской медицинской академией последипломного образования (заведующий кафедрой физиотерапии и курортологии, д.м.н., профессор Тондий Л.Д.) а также Киевской медицинской академией последипломного образования имени П.Л. Щупика (заведующий кафедрой медицинской реабилитации, физиотерапии и курортологии д.м.н., профессор Самосюк И.З.).

Основными производителями лазерной аппаратуры в Украине являются: Научно-производственное объединение «Профессор»; ООО «Медицинские инновационные технологии»; Украинский центр лазерной медицины «АППАМЕД» (г. Киев); Научно-производственная медико-биологическая корпорация «Лазер и здоровье»; Харьковское производственное объединение «Радиореле»; Научно-производственная фирма «Пульсар» (г. Харьков); частное малое производственное предприятие «Фотоника Плюс» (г. Черкассы).

В короткой истории лазерной медицины можно выделить несколько ключевых этапов, оказавших наиболее существенное влияние на ее развитие [8]:

- разработка инструмента на базе световодов, позволяющего проводить внутриполостное воздействие;
- создание методик и средств для внутрисосудистого лазерного облучения крови;
- сочетание воздействия излучениями с различными длинами волн;
- появление полупроводниковых лазеров, отличающихся лучшими технико-экономическими показателями;
- разработка методик сочетаемого воздействия НЭЛИ с другими видами энергии.

Усиленное развитие и эффективность лазерной медицины напрямую связаны с развитием лазерных технологий и совершенствованием лазерной техники.

5.2. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Человек, как и любой биологический объект, представляет собой открытую систему, обменивающуюся с окружающей средой веществом и энергией. На основании этого утверждения В.М. Инюшин в 1970 г. сделал предположение о том, что при оптимальных дозах воздействия лазерным излучением осуществляется энергетическая «подкачка» (биостимуляция) организма, в результате которой активируются саногенетические процессы.

Ключевым звеном в *биостимулирующем эффекте* лазерного излучения является активация ферментов, которая приводит к усилению биоэлектрических и биосинтетических процессов в клетках. Активация биоэлектрических ферментов приводит к возрастанию уровня АТФ и других веществ [9].

Важнейший компонент дальнейших реакций проявляется в интенсификации пролиферации клеток, что определяет такие процессы, как скорость роста и регенерации тканей, кровотворение, активность иммунной системы и системы микроциркуляции.

Стимулирующее действие лазерного излучения на процессы регенерации наиболее отчетливо проявляется для костных образований, соединительной, эпителиальной и мышечной тканей, а также нервных волокон.

Стимуляция кровотворения выражается в увеличении числа форменных элементов крови, изменении активности антисвертывающей системы крови, снижение СОЭ.

Активизация иммунной системы характеризуется повышением интенсивности деления и усилением функциональной активности иммунокомпетентных клеток (лимфоцитов, лейкоцитов и др.), увеличением образования белков (иммуноглобулинов и др.). Это клинически обуславливает выраженный противовоспалительный эффект, особенно при длительно текущих процессах. Иммунокорегирующая направленность лазерного излучения определяет и другой клинический эффект – десенсибилизирующий.

Одна из наиболее существенных особенностей действия НЭЛИ состоит в стимуляции микроциркуляции, что в свою очередь оказывается на состоянии трофических процессов в тканях. В настоящее время под микроциркуляцией понимают не только сосудистую микроциркуляцию, но и движение жидкостей вне сосудистого русла. Микроциркуляторные процессы тесно связаны с процессами метаболизма в тканях.

Микроциркуляция обеспечивает обмен веществ в тканевой микросистеме, куда входят клетки, специфические для данной ткани, соединительно-тканые образования и выделяемые ими физиологически активные вещества, окончания нервных волокон. Микроциркуляция происходит непосредственно в микроциркуляторном русле, которое можно рассматривать

как систему, состоящую из трех звеньев.

Первое звено – кровеносное, которое кроме капилляров содержит пред- и посткапилляры, артериолы, венулы, артериоловенулярные анастомозы.

Второе звено – лимфотическое, состоит из лимфатических капилляров и посткапилляров.

И, наконец, третье звено – межклеточное, которое локализовано между стенками сосудов и клетками соответствующей ткани.

Кроме межклеточного вещества, это пространство заполнено коллагеновыми фибрillами и волокнами, продуцирующими биологические (физиологически) активные вещества. В результате улучшения микроциркуляции наблюдается отчетливый противоотечный эффект. Уменьшение отека и напряжения тканей, вымывание метаболитов обуславливает болеутоляющий эффект.

Таким образом, в результате воздействия НЭЛИ, можно в месте облучения выделить следующие клинические эффекты: регенераторный, иммуностимулирующий, противовоспалительный, десенсибилизирующий, улучшающий микроциркуляцию, противоотечный и болеутоляющий.

В процессе воздействия НЭЛИ можно зарегистрировать изменения метаболических процессов не только в облучаемой зоне, но и в отдаленных местах. Происходит генерализация местного эффекта облучения с включением многих функциональных систем. Общие нейрогуморальные реакции начинают развиваться с момента появления эффективных концентраций биологически активных веществ в тканях, подвергшихся лазерному воздействию. Генерализация осуществляется в основном через жидкие среды организма.

Общий ответ формируется и за счет нервно-рефлекторного механизма, что подтверждается динамикой электрофизиологических показателей (ЭЭГ и др.), основных показателей деятельности сердечно-сосудистой системы, ряда биохимических процессов. Все эти сдвиги носят отсроченный характер и проявляются лишь через некоторое время после воздействия НЭЛИ. Нервно-рефлекторные эффекты более демонстративны при облучении акупунктурных зон.

При анализе влияния НЭЛИ на биологические объекты принято выделять следующие уровни реализации ответной реакции:

– субклеточный – возникновение возбужденных состояний молекул; образование свободных радикалов; стереохимическая перестройка молекул; увеличение скорости синтеза белка, РНК, ДНК; ускорение синтеза коллагена и его предшественников; изменение кислородного баланса и активности окислительно-востановительных процессов;

– клеточный – изменение заряда электрического поля клетки, ее мембранныго потенциала, повышение пролиферативной активности и т.д.;

- тканевый – изменение рН межклеточной жидкости, морфофункциональной активности и микроциркуляции;
- органный – нормализация функции какого-либо органа;
- системный и организменный – возникновение ответных комплексных адаптационных нервно-рефлекторных и нервно-гуморальных реакций с активацией симпатоадреналовой и иммунной систем.

Конечным результатом лазерной биостимуляции является повышение резистентности организма и расширение пределов его адаптации, т.е. восприимчивости к различным заболеваниям.

При этом лазеротерапию можно рассматривать как специфический метод интенсификации процессов саногенеза путем направленной биоактивации. Последовательность изменений, происходящих при лазерной биоактивизации, можно представить схемой, показанной на рис. 5.1 [9].

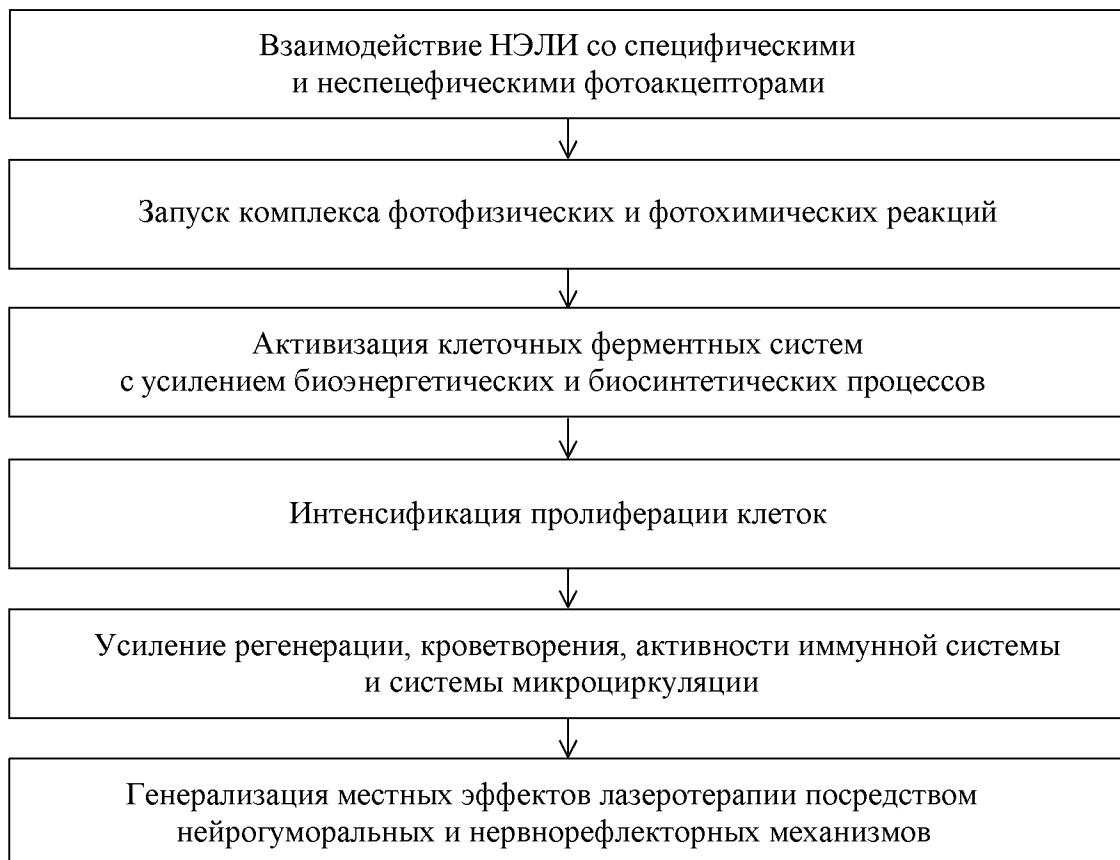


Рисунок 5.1 – Схема последовательности изменений при лазерной биоактивизации

Лазеротерапию назначают, как правило, при заболеваниях и повреждениях костно-мышечной и периферической нервной системы; при заболеваниях сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем; при заболевании мочеполовой системы; при повреждениях и заболеваниях

кожи; заболеваниях ЛОР-органов; тимусзависимых иммунодефицитных состояниях; диабетических ангиопатиях [10].

5.3. ЧАСТОТНО – ВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В лазеротерапии принято различать такие понятия, как:

- $f_{\text{ЭИ}}$ – **частота электромагнитного излучения** (величина обратно пропорциональная длине волны);
- $f_{\text{ГИ}}$ – **частота генерации импульсов лазерного излучения** (величина, определяемая характером действия источников накачки);
- f_m – **частота модуляции лазерного излучения** (величина, характеризующая процесс модуляции непрерывного или импульсного лазерного излучения сигналом определенной частоты).

5.3.1. Электромагнитное излучение оптического диапазона

Лазерное излучение представляет собой электромагнитное излучение оптического диапазона, обладающее такими свойствами, как **когерентность,monoхромность, поляризованность и направленность**.

Оптический диапазон электромагнитного излучения в зависимости от длины волны разделяется на следующие части:

- 1) ультрафиолетовый (УФ) спектр:
 - коротковолновый УФ спектр 100-280 нм;
 - средневолновый УФ спектр 280-315 нм;
 - длинноволновый УФ спектр 315-400 нм;
- 2) видимый спектр:
 - фиолетовый спектр 400-450 нм;
 - синий спектр 450-480 нм;
 - голубой спектр 480-510 нм;
 - зеленый спектр 510-575 нм;
 - желтый спектр 575-585 нм;
 - оранжевый спектр 585-620 нм;
 - красный спектр 620-780 нм;
- 3) инфракрасный (ИК) спектр:
 - ближний ИК спектр 780-1400 нм;
 - средний ИК спектр 1400-3000 нм;
 - дальний ИК спектр 3000-1000000 нм.

Частота $f_{\text{ЭИ}}$ электромагнитного излучения при известной длине волны λ может быть определено по выражению

$$f = \frac{c}{\lambda}, \quad (5.1)$$

где c – скорость света, которую с 1973 г. Решением Генеральной ассамблеи Международного комитета по численным данным для науки и техники принято считать в вакууме равной $299792458 \pm 1,2$ м/с.

Чем выше частота $f_{\text{ЧМ}}$ и короче длина волны λ электромагнитного излучения, тем больше энергия E его фотонов, которая может быть определена выражением

$$E = h f, \quad (5.2)$$

где h – постоянная Планка, численно равная $6,62176(36) \cdot 10^{-34}$ Дж·с.

В пределах оптического излучения наибольшей энергией обладают электроны ультрафиолетового излучения, которое из-за этого называют «жестким». Наиболее «мягким», в этом смысле, является инфракрасное излучение. Так, энергия фотона азотного лазера ультрафиолетового спектра

($\lambda = 337$ нм) составляет 3,7 эВ; гелий-кадмиевого лазера фиолетового спектра ($\lambda = 441,6$ нм) – 2,8 эВ; лазера на парах меди зеленого спектра ($\lambda = 510$ нм) – 2,5 эВ; гелий-неонового лазера красного участка спектра ($\lambda = 632,8$ нм) – 2,0 эВ; рубинового лазера красного спектра ($\lambda = 694$ нм) – 1,8 эВ; арсенид-галиевого лазера инфракрасного спектра ($\lambda = 800–900$ нм) $\approx 1,4$ эВ (1 эВ = $1,60201 \cdot 10^{-19}$ Дж) [9]. Даже при низких плотностях мощности ($0,1$ - 100 мВт/см 2), используемых в лазеротерапии, коротковолновое лазерное излучение ультрафиолетового и примыкающего к нему видимого фиолетового и синего спектров может нарушить сильные внутримолекулярные связи, что существенно сужает его терапевтические возможности.

Поглощение энергии фотонов вызывает ослабление или разрыв меж- и внутримолекулярных связей. Увеличение энергии квантов может приводить к селективному фотолитическому расщеплению биомолекул и нарастанию содержания их свободных форм, обладающих высокой биологической активностью. Такие процессы проявляются преимущественно в диапазоне красного спектра, энергия фотонов которого достаточна для разрыва сильных ионных и ковалентных связей. Избирательное поглощение лазерного излучения биомолекулами обусловлено совпадением длины волны ЛИ и максимумов спектра поглощения λ_{max} биомолекул. Так, например, поглощение ЛИ красного спектра с $\lambda = 632$ нм осуществляется преимущественно молекулами ДНК ($\lambda_{\text{max}} = 620$ нм), цитохромоксидазы ($\lambda_{\text{max}} = 600$ нм), цитохрома ($\lambda_{\text{max}} = 632$ нм), супероксиддисмутазы ($\lambda_{\text{max}} = 630$ нм) и каталазы ($\lambda_{\text{max}} = 628$ нм). ЛИ ближнего ИК спектра с длиной волны $\lambda = 800$ - 1200 нм поглощается преимущественно молекулами нуклеиновых кислот ($\lambda_{\text{max}} = 820$ нм) и кислорода [10].

От длины электромагнитной волны зависит и глубина проникновения НЭЛИ через кожу. Проникающая способность излучения от ультрафи-

олетового до оранжевого диапазона постоянно увеличивается от 1-20 мкм до 2,5 мм, с резким увеличением глубины проникновения в красном диапазоне до 20-30 мм. Наибольшая проникающая способность соответствует ближнему ИК диапазону при длине волны от 950 до 1070 нм и составляет до 50-70 мм. В дальнем инфракрасном диапазоне происходит резкое снижение проникающей способности лазерного излучения. Зависимость глубины проникновения l лазерного излучения в живые ткани от длины волны приведены на рис. 5.2. Кривые 1-3 соответствуют проникновению мощности лазерного излучения на 75, 50 и 25 % от мощности, поданной на поверхность ткани. Кривая 4 показывает пороговое значение мощности, ниже которого лазерное излучение влияния на биоткани не оказывает [11].

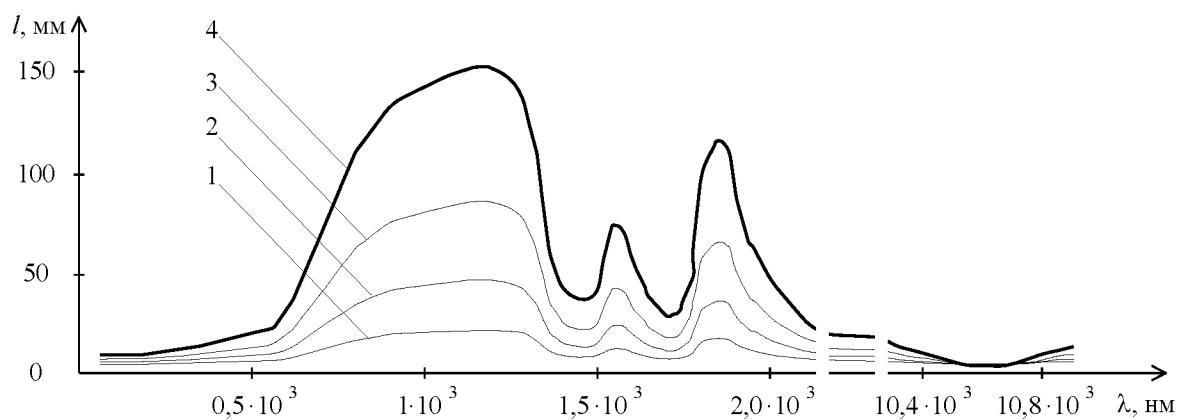


Рисунок 5.2 – Зависимость глубины проникновения лазерного излучения в живые ткани от длины волны

Длина электромагнитной волны видимой части спектра влияет и на эффективность воздействия излучения на зрение. Эффективность принято

оценивать значением относительной функции видности F^* . Эта функция представляет собой зависимость монохроматической чувствительности глаза человека, отнесенной к значению максимальной чувствительности, от длины волны воспринимаемого излучения [12].

График функции видности, определенной Международной комиссией по

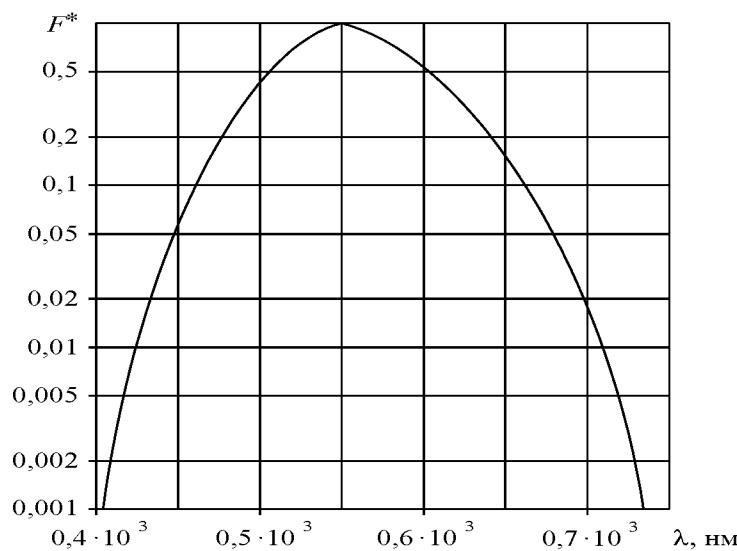


Рисунок 5.3 – Относительная функция видности спектральной чувствительности глаза человека

освещению, для дневного зрения показан на рис. 5.3.

Из графика видно, что максимальная чувствительность глаза соответствует зеленому спектру ($\lambda = 550$ нм).

5.3.2. Режимы генерации лазерного излучения

В общем случае, лазеры могут генерировать электромагнитные колебания в трех режимах:

- непрерывно в течение длительного времени (рис. 5.4,*a*);
- однократно в виде одиночной вспышки;
- периодически с различной частотой генерации импульсов $f_{\text{г.и}} = 1/T_{\text{г.и}}$ (рис. 5.4,*б*).

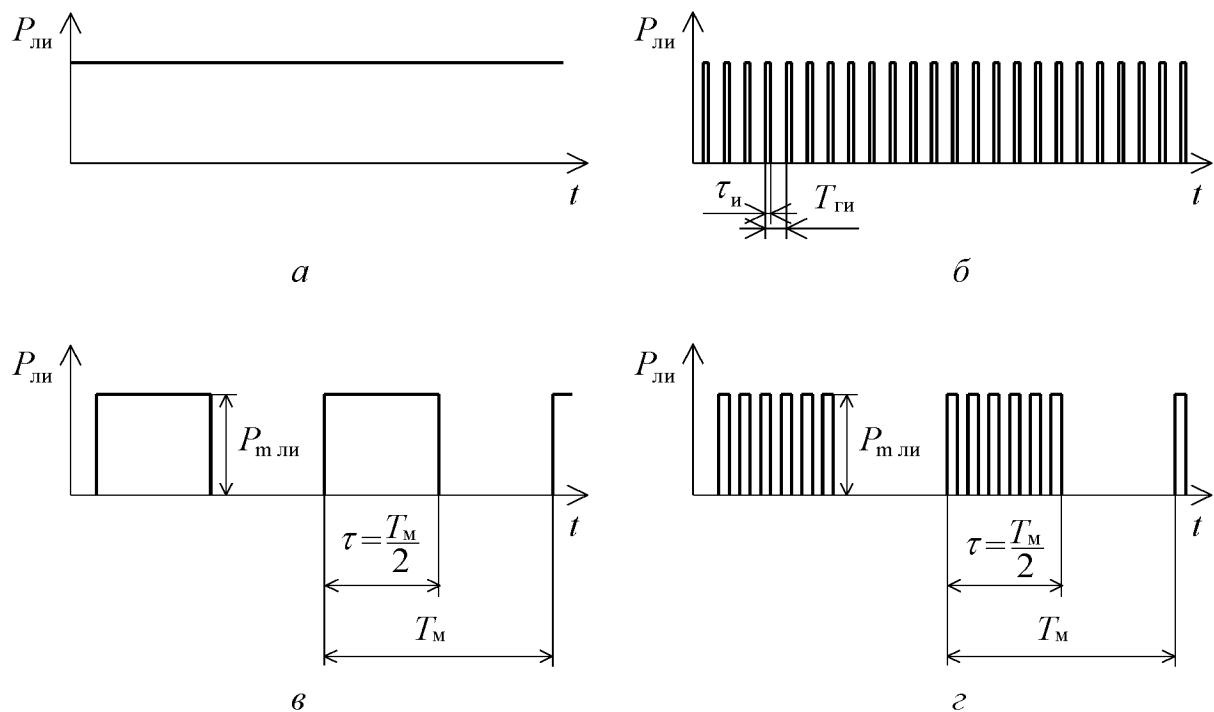


Рисунок 5.4 – Непрерывное (*а*), импульсное (*б*) и модулированное (*в*, *г*) лазерное излучение

Режим работы лазера определяется характером действия источников накачки лазера и законом изменения добротности его оптического резонатора. Если резонатор имеет постоянный уровень потерь и, соответственно, постоянную добротность, то лазер будет работать в режиме так называемой свободной генерации. При этом временной характер выходного излучения лазера определяется времененным характером накачки. При непрерывной накачке излучение будет непрерывным, а при импульсной – оно будет иметь импульсный характер. В газовых, жидкостных и полупроводниковых лазерах форма импульса излучения близка к форме импульса

накачки. В твердотельных лазерах в начальной части лазерного импульса имеется переходной участок. В некоторых случаях в излучении твердотельных лазеров наблюдаются хаотические пульсации интенсивности, связанные с флуктуациями добротности или длины оптического резонатора.

Для получения коротких импульсов излучения лазера используют режим модуляции добротности резонатора. Для этого во время действия накачки лазерный затвор вводит в резонатор дополнительные потери, препятствующие возникновению свободной генерации. После выключения лазерного затвора энергия возбуждения, запасенная в активной среде, излучается в виде короткого импульса лазерного излучения с длительностью $\tau_E = 10^{-7}\text{-}10^{-9}$ с.

Режим модуляции добротности удается получить в твердотельных лазерах и в некоторых видах газовых лазеров. Модуляцию добротности можно осуществлять как при импульсной накачке лазера (затвор открывается только в конце действия импульса накачки), так и при непрерывной накачке, когда затвор периодически открывается и закрывается с частотой от нескольких десятков Гц до нескольких десятков кГц.

Использование импульсного режима генерации НЭЛИ позволяет создавать более эффективные и оптимальные условия для лазерного воздействия, по сравнению с непрерывным излучением, за счет высокой концентрации световой энергии в импульсе и возможности получения хорошего терапевтического эффекта при меньших дозах и более кратковременном воздействии на организм [8]. Частотная характеристика НЭЛИ важна по двум основным причинам. Во-первых, посредством подбора необходимой частоты генерации (при условии $\tau_E = \text{const}$) можно регулировать среднее значение выходной мощности лазерного излучения, которое определяется выражением:

$$P_{\tilde{N}DE\dot{E}} = P_{\dot{\delta} E\dot{E}} \tau_E f_{A\dot{E}}, \quad (5.3)$$

а через него и дозу воздействия.

Во-вторых, частота генерации НЭЛИ в области частот от 1 до 500 Гц несет информационную компоненту, поскольку может оказаться резонансной к частотам тех или иных изменений функциональной активности структур или процессов в организме. НЭЛИ с частотой генерации более 1000 Гц обычно рассматривается как квазинепрерывное, поскольку при этом организм оказывается чувствительным только к энергетической составляющей лазерного излучения.

При необходимости увеличения дозы воздействия частоту генерации лазерного излучения поднимают до 3-5 кГц, а в тех случаях, когда необходимо вызвать генерализованный отклик организма, частоту генерации поднимают до 33 кГц.

Различия в действиях непрерывного и импульсного НЭЛИ определяются, прежде всего, процессами синтеза РНК и ДНК. Непрерывное излучение не

влияет на интенсивность синтеза РНК в том интервале доз, в котором наблюдается значительное воздействие на ДНК. В то же время НЭЛИ с различными частотами электромагнитного излучения и генерации стимулирует синтез РНК, не влияя на синтез ДНК. Этот факт свидетельствует о наличии некоторых нестационарных эффектов в биостимуляции лазерным излучением.

5.3.3. Модуляция лазерного излучения

Модуляция непрерывного или импульсного лазерного излучение существенно расширяет диапазон эффективности доз воздействия. Наиболее часто для модуляции ЛИ используются прямоугольные импульсы со скважностью $Q = 2$. В этом случае средняя мощность излучения уменьшается в два раза и не зависит от частоты $f_M = 1/T_M$ (см. рисунок 5.4, ε , ε). Для регулирования мощности при модуляции ЛИ можно изменять длительность временного интервала τ . При этом, в режиме непрерывной генерации среднее значение мощности ЛИ будет определяться выражением:

$$P_{\tilde{N}D\tilde{E}\dot{E}(\tilde{I}\tilde{A})} = P_{m\ddot{E}\dot{E}} \frac{\tau}{O_i}, \quad (5.4)$$

а в режиме импульсной генерации – выражением:

$$P_{\tilde{N}D\tilde{E}\dot{E}(\dot{E}\tilde{A})} = D_{m\ddot{E}\dot{E}} \frac{\tau_{\dot{E}} \cdot \tau}{O_{\tilde{A}\dot{E}} \cdot O_i}. \quad (5.5)$$

Модуляцию лазерного излучения условно можно разделить на два направления:

- модуляция сигналами в виде последовательности прямоугольных импульсов с фиксированными (или меняющимися по определенным законам) частотно-временным параметрам;
- модуляция сигналами, синхронизированными с физиологическими процессами в организме человека (биосинхронизация).

В методических рекомендациях по применению с лечебной целью лазерного излучения упоминается около 20 значений частот модуляции, применение которых обосновано и подтверждено клинической практикой. Например, в рефлексотерапии используют низкие частоты модуляции НЭЛИ ($f_m < 100$ Гц), а при воздействии на зоны – более высокие ($f_m < 1500$ Гц) [13]. При проведении ВЛОК для эффективного очищения поверхности биомембран от токсичных веществ рекомендуется применять частоту модуляции до 100 Гц.

Для формирования модулирующих сигналов с высокой точностью частотно-временных параметров и широким диапазоном их изменения

наиболее целесообразно использовать микропроцессорные импульсные системы, реализованные на основе положений теории цифро-импульсных и импульсно-цифровых преобразований [14].

Функциональная схема микропроцессорного формирователя модулирующих сигналов приведена на рис. 5.5.

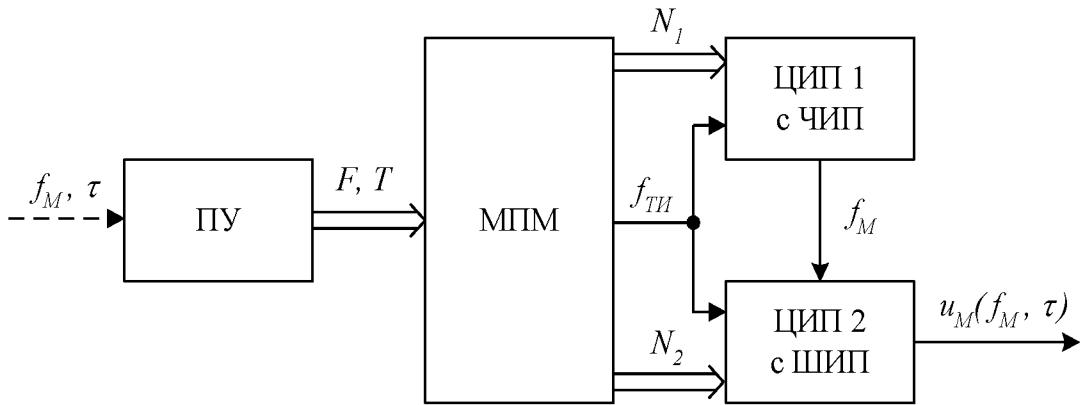


Рисунок 5.5 – Формирователь модулирующих сигналов

Здесь задание частотно-временных параметров сигнала (f_M – частота и τ – длительность импульсов) осуществляется с помощью пульта управления (ПУ). В соответствии с заданными с ПУ параметрами воздействия в микропроцессорный модуль (МПМ) записываются коды следующих чисел:

$$F = \frac{f_M(2^n - 1)}{f_{M\max}}; \quad (5.6)$$

$$\dot{O} = \frac{\tau(2^n - 1)}{\tau_{\max}}, \quad (5.7)$$

где $f_{M\max}$, τ_{\max} – максимальные значения частоты модуляции и длительности импульсов; n – разрядность кодов задания F и T .

Далее, в МПМ производится обработка кодов задания и вычисляются значения некоторых чисел:

$$N_1 = \frac{(2^n - 1)^2 f_{M\min}}{F \cdot f_{M\max}}; \quad (5.8)$$

$$N_2 = T, \quad (5.9)$$

где $f_{M\min}$ – минимальное значение частоты модуляции.

Код числа N_1 преобразуется в первом цифро-импульсном преобразователе с частотно-импульсным законом преобразования (ЦИП1 с ЧИП) в

импульсную последовательность с частотой f_M следования импульсов:

$$f_M = \frac{f_{\dot{O}\dot{E}}}{N_1}, \quad (5.10)$$

где $f_{\dot{O}\dot{E}}$ – частота тактовых импульсов, значение которой следует выбирать из условия:

$$f_{\dot{O}\dot{E}} \leq (2^n - 1) f_{M \min}. \quad (5.11)$$

При этом, чем большее значение частоты тактовых импульсов выбрано, тем выше будет точность формирования частотно-временных параметров модулирующего сигнала.

Выходной сигнал ЦИП1 с ЧИП синхронизирует работу второго цифро-импульсного преобразователя с широтно-импульсным законом преобразования (ЦИП2 с ШИП), где осуществляется преобразование кода числа N_2 в длительность модулирующих импульсов τ_H :

$$\tau_H = \frac{N_2}{f_{\dot{O}\dot{E}}}. \quad (5.12)$$

Таким образом, на выходе ЦИП2 с ШИП формируется частотно-импульсный модулирующий сигнал u_M с частотой $f_M = 1/T_M$ следования импульсов и их длительностью τ_H . Процесс формирования модулирующего сигнала показан на рис. 5.6.

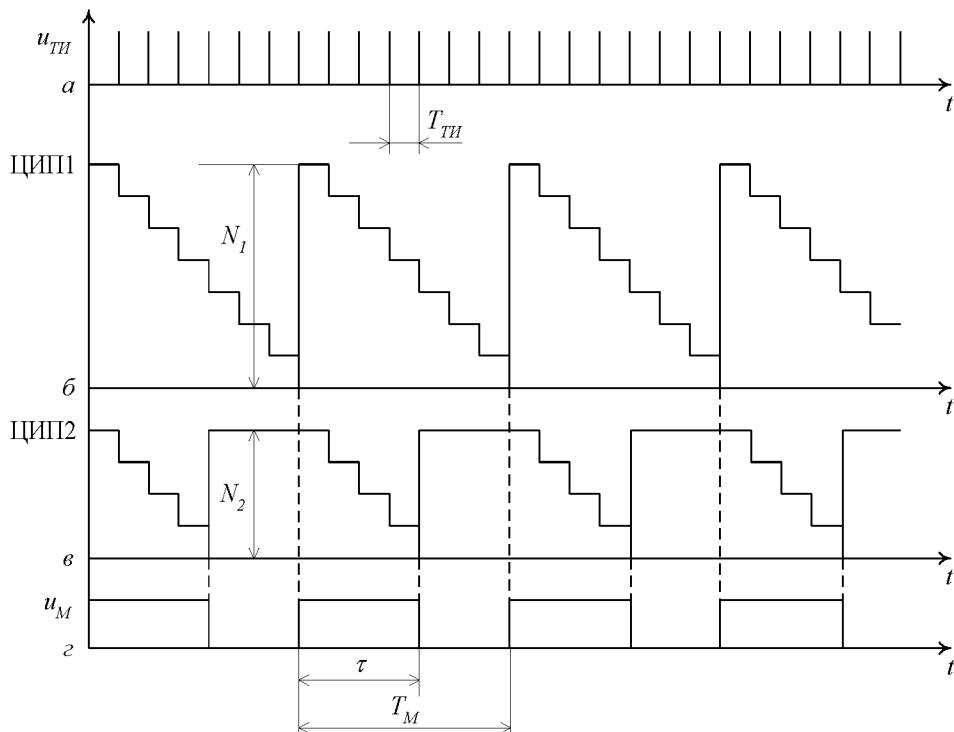


Рисунок 5.6 – Процесс формирования модулирующего сигнала

Наиболее перспективным для повышения эффективности воздействия электромагнитным излучением оптического диапазона является применение комбинации многочастотной модуляции со сложным импульсным режимом генерации и изменением частоты самого электромагнитного излучения в течение облучения (процедуры) биологического объекта. Такое воздействие осуществляет влияние на макромолекулы и молекулярные кластеры в соответствии с корреляцией между параметрами излучения и характеристиками релаксационных процессов [15].

Для реализации сложных законов модуляции ЭМИ, включая его частоту, достаточно эффективно могут быть использованы особо яркие (суперяркие) полупроводниковые светоизлучающие диоды с управляемым цветом свечения [16].

5.3.4 Синхронизация лазерного излучения с биоритмами человека

Биосинхронизация частотно-временных параметров воздействия лазерного излучения с эндогенными биоритмами конкретного пациента – одно из самых перспективных направлений развития лазерной медицинской аппаратуры и методологии лечения [8]. Однако, вследствие принципиальной трудности реализации такого режима воздействия ЛИ, при котором его синхронизация осуществлялась бы со всеми эндогенными биоритмами, обычно для каждого пациента ограничиваются определением трех частот внутренних ритмов, как это сделано в аппарате «Мустанг-БИО» [17].

Принцип такой биосинхронизации показан на рис. 5.7.

Исходная мощность ЛИ (рис. 5.7,*а*) модулируется тремя сигналами. Первый сигнал представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с плавающей частотой f_M равной 7-14 Гц, с которой происходят многие физиологические процессы в организме человека и которая задается внутренним генератором аппарата. В результате такой модуляции амплитудное значение мощности снижается в три раза (рис. 5.7,*б*), а среднее значение мощности будет определяться выражением (5.5).

При подключении датчика пульса, ЛИ дополнительно модулируется сигналом, имеющим частоту пульса $f_{\bar{P}} = 1/\bar{O}_{\bar{P}}$. При этом во время систолы мощность ЛИ увеличивается до двух раз по сравнению с мощностью во время диастолы (рис. 5.7,*в*).

При подключении датчика дыхания, ЛИ модулируется сигналом с частотой дыхания $f_{\bar{A}} = 1/\bar{O}_{\bar{A}}$. Во время вдоха мощность ЛИ увеличивается в два раза по сравнению с мощностью во время выдоха (рис. 5.7,*г*).

Одновременное подключение двух датчиков обеспечивает сложный закон модуляции, в результате которого мощность ЛИ минимальна в фазах выдоха и диастолы, а в фазах вдоха и систолы – максимальна (рис. 5.7,*δ*).

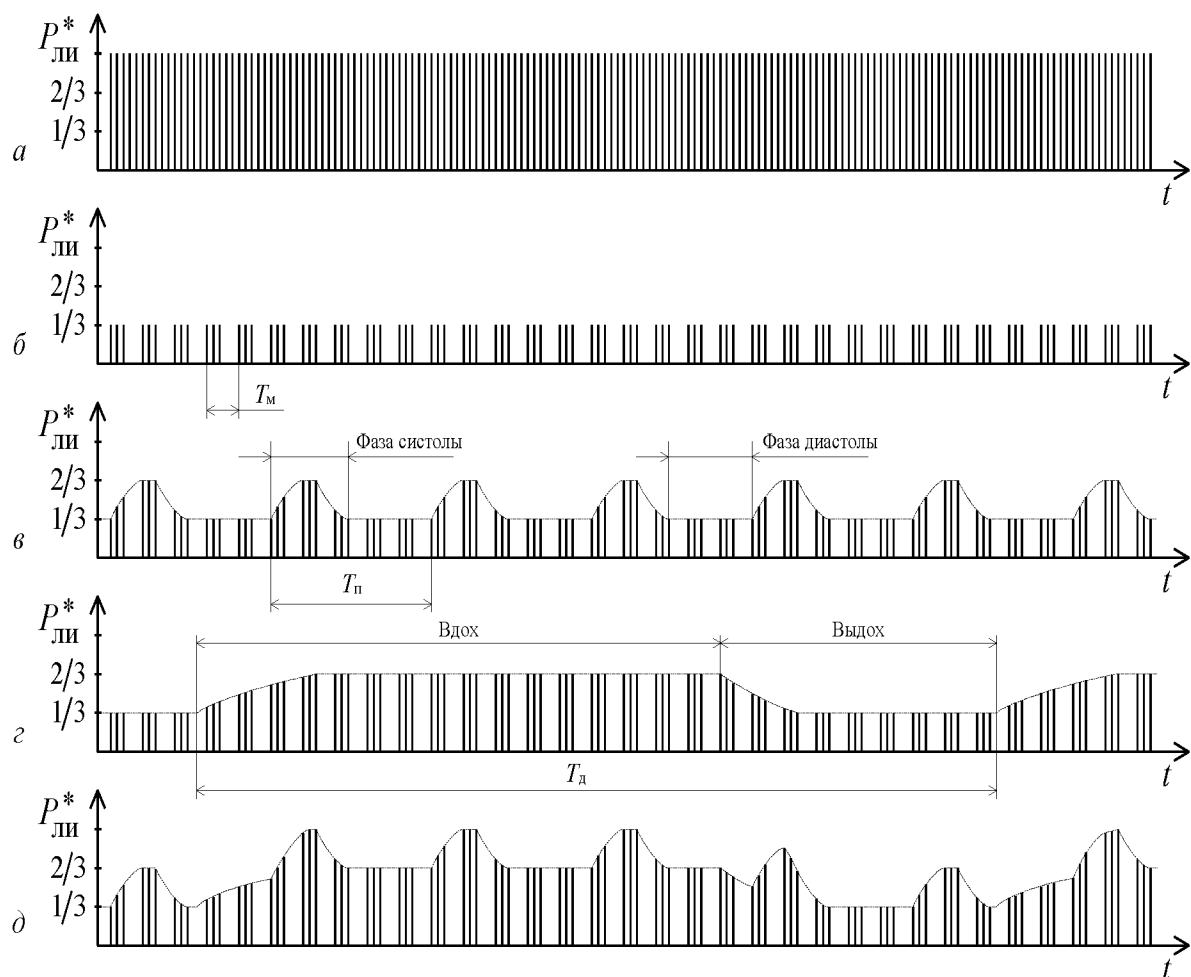


Рисунок 5.7 – Модуляция лазерного излучения при биосинхронизации

В результате биосинхронизации средняя мощность ЛИ уменьшается в 2,5-3 раза от исходного значения, что необходимо учитывать, рассчитывая дозу облучения.

5.4. ЛАЗЕРНАЯ ТЕРАПИЯ

5.4.1. Классификация способов облучения НЭЛИ

По способу доставки НЭЛИ к зоне воздействия различают несколько способов лазеротерапии. В общем случае все способы воздействия могут быть разделены на **контактные** и **дистанционные** (см. рисунок 5.8).

В свою очередь контактные способы могут быть разделены на три группы.

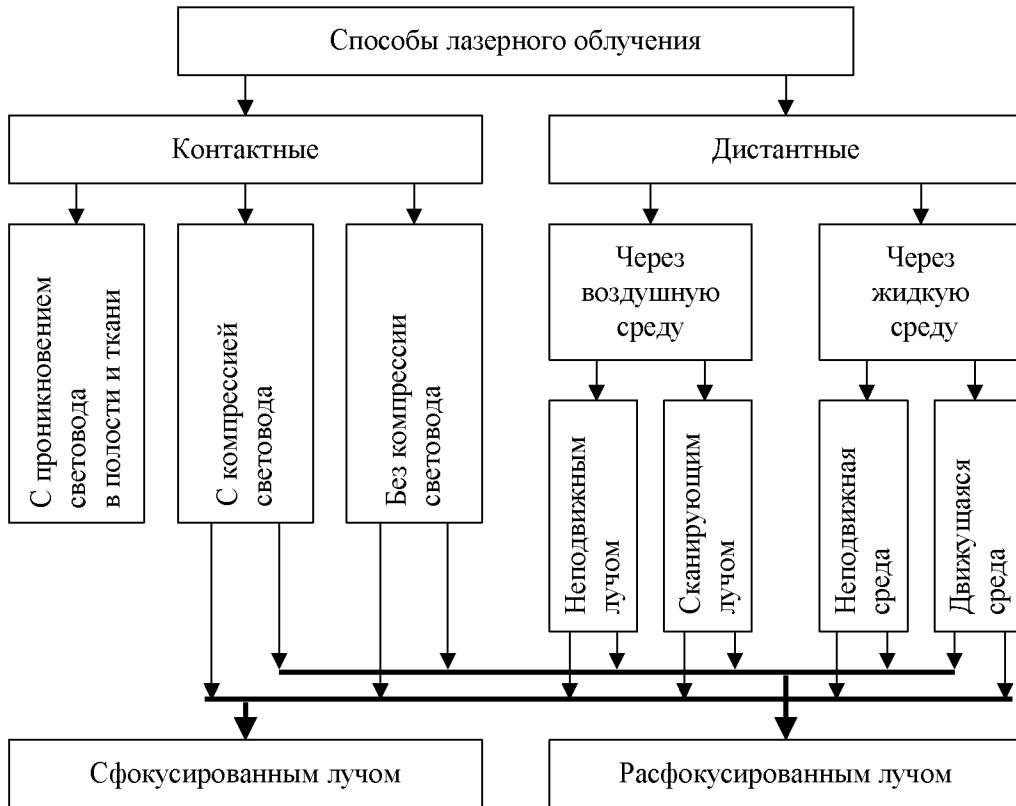


Рисунок 5.8 – Классификация способов лазерного облучения

К первой группе относятся способы воздействия с проникновением световода:

- внутриорганное (внутриполостное) облучение – НЭЛИ подводится к пораженному органу посредством эндоскопической аппаратуры с помощью световода или оптических насадок (наконечников) в полостные органы;
- внутрисосудистое облучение крови – НЭЛИ проводится с помощью световода, введенного через инъекционную иглу или катетер в вену, артерию или прямо в сердце;
- внутритканевое (внутрикостное, периостальное или миофасциальное) облучение – доставка НЭЛИ производится через световод, введенный в полуиглу.

Вторая группа способов – воздействие с компрессией световода, заключающееся в дозированном давлении на кожу торцом световода или излучающей головкой. При использовании этого способа за счет уменьшения неоднородности ткани проникновение НЭЛИ повышается в несколько раз.

Третья группа способов – воздействие без компрессии световода, состоит в том, что НЭЛИ при помощи световода или излучающей головки подается непосредственно на кожу без зазора между ними. При этом воз-

действие оказывают на акupунктурные и болевые точки (гепатобилиарная и пояснично-крестцовая зоны, области щитовидной и вилочковой желез).

Дистантные способы предполагают воздействие НЭЛИ путем размещения излучателя на некотором расстоянии от поверхности тела. При этом различают две основные группы способов воздействия. В соответствии со способами первой группы воздействие НЭЛИ оказывают через воздушную среду, а в соответствии со способами второй группы – через жидкую среду (см. рис. 5.8).

Воздействие НЭЛИ через воздушную среду может оказываться как неподвижным лучом, так и сканирующим, т.е. перемещающимся по определенной траектории. В первом случае воздействию подвергается незначительная область ($3-7 \text{ мм}^2$), а во втором – суммарная площадь воздействия за одну процедуру может достигать 400 см^2 .

Эффективность сочетания НЭЛИ с жидкой средой (обычно водой различной температуры) заключается в том, что помимо терапевтического действия самой водной процедуры и непосредственного лазерного облучения, модулированного случайными процессами в воде, пациент подвергается действию активированной лазером воды, обладающей особыми свойствами.

Для проведения таких процедур лазерные излучатели монтируются в ванне (воздействие через неподвижную среду) или внутри душеров (воздействие через движущуюся среду).

Особенность отдельных способов облучения состоят еще и в том, что воздействие может оказываться как сфокусированным лучом, так и расфокусированным.

Рассмотренная классификация способов облучения, используемых в лазерной терапии [18], является достаточно условной, поскольку в сложных случаях, как правило, сочетают несколько различных способов доставки НЭЛИ. Кроме того, интенсивное развитие аппаратуры для лазерной терапии позволяет не только совершенствовать известные способы воздействия, но и создавать новые.

5.4.2 Общие принципы построения аппаратов лазерной терапии

В настоящее время номенклатура лазерных терапевтических аппаратов чрезвычайно обширна и разнообразна. Одни из них предназначены для работы в специализированных кабинетах и отделениях (эндоскопия, гинекология, урология, проктология, оториноларингология, стоматология, акупунктура), другие – для физиотерапевтических целей широкого профиля. С учетом этого обстоятельства все аппараты для лазеротерапии могут быть разделены на специализированные и многоцелевые [9].

Основными функциональными блоками аппаратов лазерной терапии являются (см. рис. 5.9):

- БЛИ – блок лазерного излучения;

- СНТИ – система наведения и транспортирования излучения;
- БУК – блок управления и контроля;
- БОИ – блок отображения информации;
- ИМИ – измеритель мощности излучения;
- БП – блок питания;
- ДСП – датчик (система датчиков) состояния пациента.

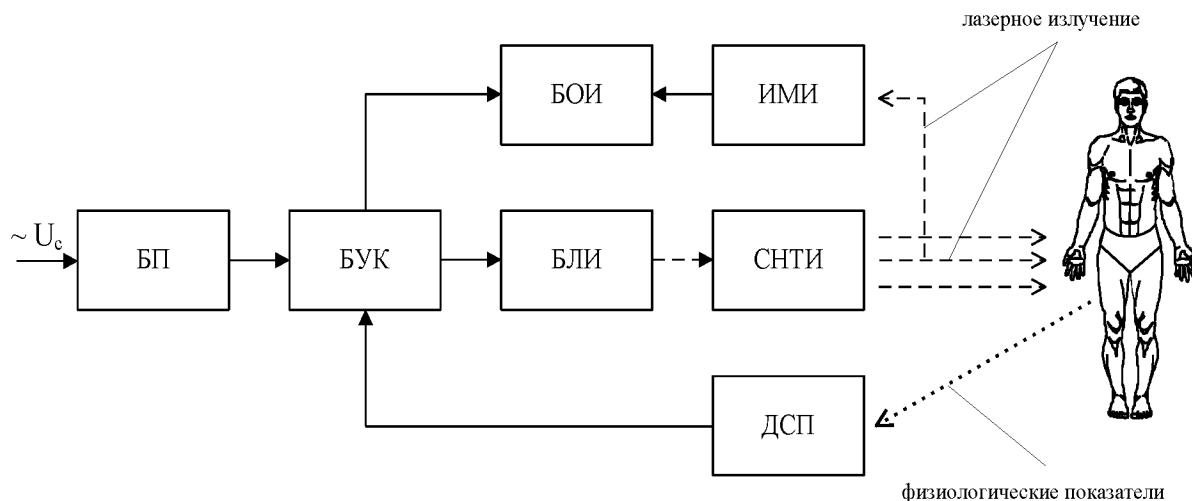


Рисунок 5.9 – Функциональная схема аппарата лазерной терапии

БЛИ может содержать один или несколько излучателей для моно-либо диахроматической лазеротерапии (обычно красный и инфракрасный спектры).

СНТИ представляет собой, как правило, некоторую совокупность линз и зеркал или волоконный световод. Последний вариант является наиболее удобным, однако в световоде несколько снижается когерентность и поляризованность лазерного излучения. В некоторых аппаратах предусмотрена расфокусирующая насадка, которая одновременно позволяет облучать достаточно большие участки тела. Для достижения этой же цели применяются сканирующие системы. При необходимости облучения внутренних органов АЛТ комплектуют различными оптическими насадками.

БУК в зависимости от функциональных возможностей аппарата позволяет задавать и отрабатывать продолжительности облучения, его мощность и частоту модуляции с учетом состояния пациента. Кроме того, здесь может быть предусмотрена возможность контроля за возникновением аварийных ситуаций и соответствующая сигнализация, а также сигнализация об окончании временного интервала облучения.

Для отображения параметров облучения служит (БОИ). Чем выше степень автоматизации процесса облучения, тем в большей степени облегчается труд медицинского персонала.

ИМИ служит для измерения мощности лазерного излучения на выходе СНТИ. Отображение информации о реальном значении мощности из-

лучения осуществляется в БОИ. Отсутствие измерителя мощности ограничивает возможности аппарата не только по контролю выходной мощности ЛИ, но и по дозировке воздействия.

БП служит для преобразования переменного напряжения U_c питающей сети в постоянное с уровнем, необходимым для электропитания БЛИ и других блоков аппарата.

ДПС предназначен для контроля за состоянием пациента с целью корректировки параметров воздействия или их модуляции (см. п. 5.3.4)

В портативных АЛТ для электропитания БЛИ служит батарея гальванических элементов.

Импульсная модуляция постоянного напряжения БП осуществляется блоком БУК.

Основными техническими данными АЛТ являются: длина волны излучения, режимы генерации излучения, выходная мощность излучателя, параметры системы наведения и транспортирования излучения, площадь воздействия, напряжение электропитания (типы и параметры гальванических элементов при автономном электропитании), габаритные размеры и масса аппарата.

От длины волны ЛИ зависит глубина его проникновения через кожу и коэффициент отражения, селективность взаимодействия с биомолекулами, функция видности, а также энергетическая мощность фотонов или жесткость излучения (см. п. 5.3.1).

Режим генерации ЛИ может быть не только непрерывным, но и импульсным. Последнее обстоятельство позволяет использовать высокую концентрацию световой энергии в импульсе, что обеспечивает хороший терапевтический эффект (см. п. 5.3.2).

Выходная мощность ЛИ аппарата обуславливает плотность мощности воздействия, дозволенный диапазон которой составляет от 0,1 до 100 мВ/см². Если в АЛТ предусмотрена возможность регулирования мощности излучения, то это в существенной степени расширяет диапазон терапевтических воздействий. Отсутствие возможности регулирования мощности, наоборот, не позволяет использовать один и тот же аппарат для реализации различных методов лазерной терапии. Например, маломощный аппарат (до 1 мВт) не пригоден для оказания воздействия на большую площадь при поражении кожи. АЛТ большой мощности (100-200 мВт) не подходит для ВЛОК, где вполне достаточно мощности ЛИ в диапазоне 0,5-5 мВт.

С помощью системы наведения и транспортирования осуществляется доставка ЛИ непосредственно к месту воздействия. В том случае, если в аппарате отсутствует световод, невозможно провести процедуру ВЛОК или направить лазерный луч через гастроскоп при язвенной болезни желудка. Отсутствие расфокусирующей насадки или системы сканирования не позволяет осуществить одновременное облучение обширной зоны. Слишком большой диаметр излучающей головки или торцевой части световода не позволяет

проводить лазерную стимуляцию точек акупунктуры (диаметр корпоральных точек 5-7 мм, аурикулярных – 1-2 мм). От площади светового пятна зависит также такой важный показатель, как плотность мощности излучения.

Массогабаритные показатели АЛТ, параметры электропитания и энергопотребления позволяют оценить возможность его использования в тех или иных случаях: специально оборудованные кабинеты лазеротерапии в медицинских учреждениях или полевые условия.

5.4.3 Универсальные аппараты лазерной терапии «Мустанг – 2000»

Высокая универсальность АЛТ серии «Мустанг» (Научно-производственный лазерный центр «Техника», г. Москва, Россия) обеспечивается блочным принципом их построения [8]. При этом в составе каждой модели можно условно выделить три полностью совместимые и сочетаемые части: базовый блок, излучающие головки и насадки.

Базовый модуль является основой каждого комплекта и представляет собой совокупность блоков питания, управления, контроля, измерения мощности ЛИ и отображения информации. Этот модуль позволяет задавать режимы излучения и его параметры: частоту, мощность, продолжительность воздействия и др. Контроль как средней, так и импульсной мощности излучения осуществляется измерителем. Базовые модули аппаратов серии «Мустанг» отличаются функциональными возможностями и условно могут быть разделены на два типа: с фиксированными параметрами ЛИ и с произвольно задаваемым набором параметров (из числа возможных значений).

К базовым модулям подходят все излучающие головки, которые в свою очередь используются со всевозможными насадками.

Наиболее универсальными АЛТ являются аппараты «Мустанг – 2000», выпускаемые в двух- и четырехканальном исполнении (см. рис. 5.10).



Рисунок 5.10 – Аппараты лазерной терапии «Мустанг – 2000»
в двухканальном (а) и четырехканальном (б) исполнениях

Основными отличительными особенностями АЛТ «Мустанг – 2000» являются следующие:

- два или четыре (в зависимости от варианта исполнения) независимых канала для подключения лазерных и светодиодных излучающих головок с возможностью регулирования мощности от минимального до максимального значений и установки частоты модуляции от 0,5 до 3000 Гц по каждому каналу;
- импульсный, модулированный или непрерывный режим работы излучающих головок;
- модуляция лазерного излучения внешним сигналом, в том числе и в режиме биосинхронизации, когда мощность лазерного излучения изменяется синхронно с частотой пульса и дыхания пациента (см.п. 5.3.4);
- измерение и цифровая индикация импульсной (мгновенной) и средней мощности излучения лазерных головок с длиной волны от 630 до 960 нм;
- установка продолжительности процедуры в диапазоне от 1 секунды до 90 мин;
- защита от несанкционированного изменения режима работы во время процедуры;
- звуковая сигнализация и отключение излучающих головок по окончании временного интервала процедуры;
- с лазерными и светодиодными излучающими головками используются более 50 типов насадок (магнитные, зеркальные, ЛОР, стоматологические, урологические, гинекологические и др.), которые существенно расширяют функциональные возможности аппарата.

Дополнительные технические данные базовых модулей аппаратов «Мустанг – 2000» приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Технические данные базовых модулей АЛТ «Мустанг – 2000»

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение	
		2-х канальный вариант	4-х канальный вариант
Максимальное количество одновременно работающих каналов	шт.	2	4
Напряжение питания	В	220 ± 22	
Частота напряжения питания	Гц	$50 \pm 0,5$	
Потребляемая мощность, не более	ВА	14	28
Продолжительность установки рабочего режима	с		4
Габаритные размеры базового модуля, не более	мм	275×196×105	340×240×140

Масса	кг	1,5	4,8
Диапазон рабочих температур	°C	+10 – +35	
Средняя продолжительность работы без технического обслуживания	ч		5000

АЛТ «Мустанг – 2000» по способу защиты пациента и обслуживающего персонала от поражения электрическим током выполнены по классу защиты II, тип BF.

Технические данные излучающих головок к АЛТ «Мустанг – 2000» приведены в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Технические данные излучающих головок к АЛТ «Мустанг – 2000»

Тип излучающей головки	Оптический диапазон	Длина волны, нм	Мощность излучения, не менее, мВт
1	2	3	4
Матричные излучатели			
МЛ01К ⁽¹⁾ (10 лазерных диодов)	Инфракрасный	890	60000
МЛС-1 (Эффект) ⁽²⁾	Инфракрасный	890	5000 (имп.)
	Инфракрасный	880	60
	Красный	630	3000 (имп.)
	Зеленый	530	3
	Синий	470	20
Матричные излучатели из 7 светодиодов ^(3,4)			
МСО2	Инфракрасный	880	100
МСО3	Красный	630	15
МСО4	Желтый	590	15
МСО5	Зеленый	530	10
МСО6	Синий	470	15
Лазерные излучающие головки типа ЛО			
ЛО1(1)	Инфракрасный	890	5000 (имп.)
ЛО2(1)	Инфракрасный	890	9000 (имп.)
ЛО3(1)	Инфракрасный	890	15000 (имп.)
ЛО4(1)	Инфракрасный	890	20000 (имп.)
ЛО5(1)	Инфракрасный	890	40000 (имп.)
ЛО6(1)	Инфракрасный	890	60000 (имп.)

ЛО7(1)	Инфракрасный	890	80000 (имп.)
ЛОК1(1)	Красный	630-650	3000 (имп.)
ЛОК2(1)	Красный	630-650	5000 (имп.)
КЛО1(4)	Красный	670	5

Продолжение таблицы 5.2

1	2	3	4
КЛО2(4)	Красный	670	24
КЛО3(4)	Красный	630	10
КЛО4(4)	Красный	630	20
КЛО5(4)	Инфракрасный	830	30
КЛО6(4)	Инфракрасный	830	200
КЛО7(4)	Инфракрасный	1300	5

Лазерные излучающие головки типа МЛО

МЛО2Б(4)	Инфракрасный	830	20
МЛО2В(4)	Инфракрасный	830	20
МЛО3А(4)	Инфракрасный	1300	1,5
МЛО3Б(4)	Инфракрасный	1300	5
МЛО5(4)	Красный	670	15
МЛО6(4)	Красный	630	4,5
МЛО7(4)	Инфракрасный	780	10
МЛО8(4)	Инфракрасный	960	20

В табл. 5.2 приняты следующие обозначения:

- (1) – импульсный режим работы (длительность импульса 100-200 нс);
- (2) – импульсный и модулированный режимы работы (в зависимости от излучателя);
- (3) – есть варианты из 1 и 31 светодиода;
- (4) – непрерывный и модулированный режимы работы.

Для облучения в режиме «биосинхронизация» к аппаратам «Мустанг – 2000» выпускается специальная приставка «БИО», которая поставляется вместе с датчиками пульса и дыхания и обеспечивает модуляцию лазерного излучения (рис. 5.11). Подключение приставки к базовому модулю осуществляется через адаптер и разъем, расположенный на задней стенке модуля.

Датчики пульса и дыхания подключаются к разъему, расположенному на задней стенке приставки «БИО». Датчик для измерения параметров пульса реализован на оптоэлектронной паре фотодиод-светодиод.

В зависимости от кровенаполнения пальцев рук, на одном из которых устанавливается датчик, изменяется интенсивность излучения, проходящего от светодиода к фотодиоду. Сигнал, снятый с фотодиода, после обработки поступает в блок модуляции лазерного излучения базового модуля.

Датчик дыхания размещается непосредственно у ноздрей пациента и представляет собой пару терморезисторов, сопротивление которых изменяется пропорционально изменению температуры воздуха при дыхании ($4-5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Выходной сигнал этого датчика также поступает в базовый модуль и используется для модуляции лазерного излучения.

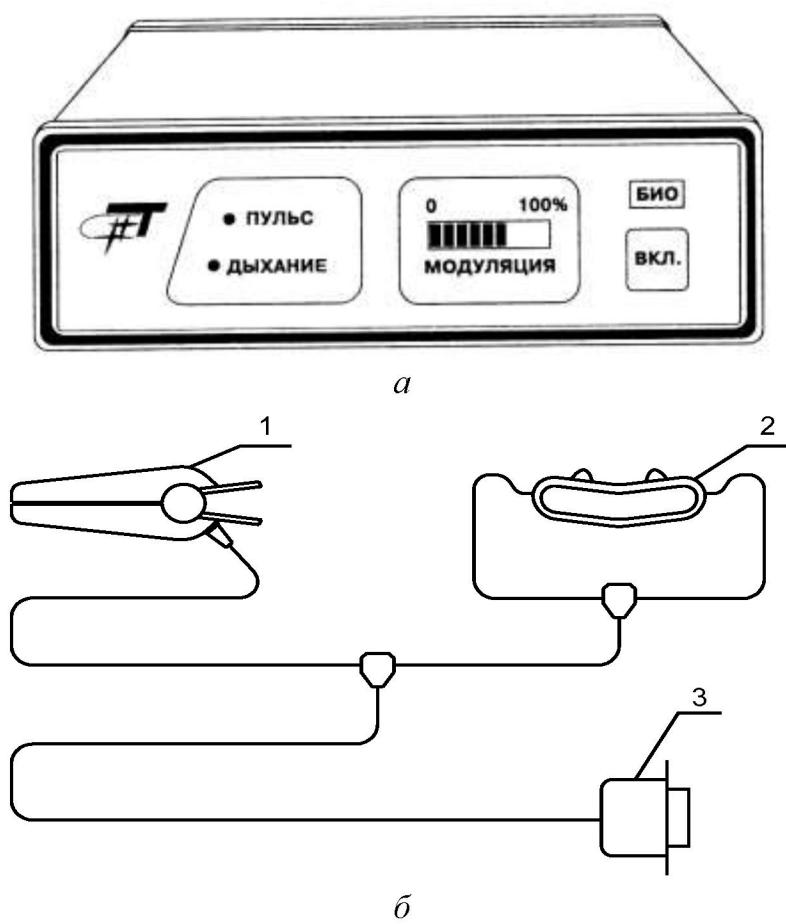


Рисунок 5.11 – Приставка «БИО» (а) и датчики (б)
к АЛТ «Мустанг-2000»: 1 – датчик пульса; 2 – датчик дыхания; 3 – разъем

5.4.4. Аппарат лазерной терапии «Мулат» для внутривенного облучения крови

Специализация некоторых АЛТ выдвигает на первый план ряд требований, обусловленных специфичностью их применения [8]. Примером здесь может служить ВЛОК, для проведения которого наиболее целесообразно использовать узкоспециализированные аппараты. Во-первых, метод ВЛОК достаточно универсален по вызываемым эффектам и применяется в самых различных областях медицины. Во-вторых, для проведения ВЛОК

необходимо выполнение специальных санитарно-гигиенических требований, аналогичных тем, которые предъявляются к процедурным кабинетам.

Специализированным аппаратом для ВЛОК является АЛТ «Мулат», разработанный и серийно производимый Научно-производственным лазерным центром «Техника» (г. Москва, Россия). Этот аппарат выполнен в виде базового модуля и специальной лазерной головки для ВЛОК со световодом ОС-2 (рис. 5.12).



Рисунок 5.12 – Аппарат лазерной терапии «Мулат»

На передней панели АЛТ «Мулат» расположены органы управления и элементы индикации позволяющие:

- включать и выключать питание аппарата;
- устанавливать мощность излучения в диапазоне от 0 до 4,5 мВт;
- устанавливать продолжительность облучения в диапазоне от 1 до 40 мин;
- начинать процесс облучения и досрочно прекращать его при необходимости.

Остальные технические данные аппарата приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Технические данные АЛТ «Мулат»

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
Длина волны излучения	нм	630
Напряжение питания	В	220 ± 22
Частота напряжения питания	Гц	50 ± 0,5
Потребляемая мощность, не более	ВА	14
Продолжительность установки рабочего режима	с	4
Габаритные размеры базового модуля, не более	мм	210×180×90

Масса аппарата в комплекте, не более	кг	1,8
Диапазон рабочих температур	°C	+10 – +35
Средняя продолжительность работы без технического обслуживания	ч	5000

АЛТ «Мулат» по способу защиты пациента и обслуживающего персонала от поражения электрическим током выполнен по классу защиты II, тип BF.

Малые габариты и масса аппарата «Мулат», отсутствие необходимости защитного зануления (заземления) позволяют применять его непосредственно в палатах для больных с ограниченной подвижностью, а также проводить процедуры непосредственно на дому у пациента.

5.4.5. Магнитолазерный терапевтический аппарат «МИЛТА-Ф»

В результате многочисленных клинико-экспериментальных исследований была установлена высокая эффективность сочетания НЭЛИ и постоянного магнитного поля (ПМП).

При этом оказалось, что в большинстве случаев врачебной практики возможно применение магнитолазерной терапии (МЛТ) как самостоятельного метода. МЛТ была предложена в конце 70-х годов прошлого века и получила наиболее широкое распространение среди сочетанных методов лазерной терапии благодаря потенцированию действия и высокой терапевтической эффективности [19].

Для проведения процедур МЛТ ЗАО «НПО космического приборостроения» и ООО «Символ» (г. Москва, Россия) был разработан и серийно производится магнито-ИК-лазерный аппарат «МИЛТА-Ф». Этот аппарат предназначен для лечения различных заболеваний путем сочетанного воздействия ПМП с импульсным лазерным и непрерывным светодиодным излучениями ближнего ИК-диапазона.

Аппарат «МИЛТА-Ф» выполнен в виде электронного модуля с пультом управления и терминала, соединенных неразъемным электрическим кабелем (рис. 5.13).



Рисунок 5.13 – Магнитолазерный терапевтический аппарат «МИЛТА-Ф»

С помощью пульта управления осуществляется включение и выключение аппарата, выбор частоты следования импульса ЛИ, устанавливается его мощность и продолжительность процедуры.

Терминал, являющийся выносной частью аппарата, содержит постоянный магнит в виде кольца, лазер, четыре светодиода и два фотодиода, позволяющие контролировать мощность излучения.

Аппарат может быть использован как в медицинских учреждениях, так и на дому у пациента под наблюдением врача [20].

Отличительными особенностями аппарата «МИЛТА-Ф» являются следующие:

- наличие фоторегистратора, позволяющего дозировать облучение пациента в зависимости от патологии и корректировать его в ходе лечения;
- световая индикация включения аппарата, установки частоты импульсов лазерного излучения при внутреннем запуске лазера, цикла работы лазера, отраженного излучения светодиодов;
- звуковая сигнализация включения питания и окончания работы лазерного и светодиодных излучателей.

В аппарате «МИЛТА-Ф» предусмотрены три режима работы:

- сочетанное действие ПМП, импульсного лазерного и непрерывного светодиодного излучений;
- сочетанное действие ПМП с импульсным лазерным излучением;
- сочетанное действие ПМП с непрерывным светодиодным излучением.

Технические данные аппарата «МИЛТА-Ф» приведены в табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Технические данные магнитолазерного аппарата «МИЛТА-Ф»

Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
1	2	3

Длина волны излучения импульсного лазера и светодиодов	нм	850-950
Диапазон регулирования мощности непрерывного излучения светодиодов	мВт	0-120
Мощность лазерного излучения в импульсе, не менее	Вт	4
Длительность импульса лазерного излучения	нс	150
Частота следования импульсов ЛИ при: – внутреннем запуске лазера – внешнем запуске лазера	Гц Гц	5, 10, 50, 80, 150, 600, 1500, 5000 0-5000
Магнитная индукция на оси магнита в плоскости апертуры терминала	мТл	20-80
Продолжительность облучения	мин	0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0
Напряжение питания	В	220 ± 22 или 110 ± 11

Продолжение табл. 5.4

1	2	3
Частота напряжения питания для сетей с напряжением: – 220 В ± 10% – 110 В ± 10%	Гц Гц	50 60
Потребляемая мощность, не более	ВА	35
Продолжительность установки рабочего режима, не более	с	5
Габаритные размеры	мм	240×215×115
Масса аппарата без запчастей и принадлежностей, не более	кг	2,2
Масса аппарата в комплекте поставки, не более	кг	5
Диапазон рабочих температур	°С	19-35
Средняя наработка на отказ, не менее	ч	2000
Средний срок службы аппарата, не менее	год	5

Магнитолазерный аппарат «МИЛТА-Ф» по способу защиты пациента и обслуживающего персонала от поражения электрическим током выполнен по классу защиты II, тип BF.

По лазерной безопасности аппарат «МИЛТА-Ф» соответствует классу II по степени опасности генерируемого излучения (ГОСТ Р 50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазеров).

Для подведения ИК-излучения лазера и светодиодов непосредственно к облучаемому участку тела пациента терминал аппарата «МИЛТА-Ф» приспособлен к установке специальных оптических насадок (для рефлексотерапии, ЛОР, стоматологии, гинекологии, проктологии).

5.4.6. Лазерный массажер «Барва-ЛМК»

На основе многолетних исследований было установлено, что эффективность лазерной терапии при некоторых видах заболеваний существенно повышается при его сочетании с аппаратным массажем. Для проведения процедур сочетанного лазерного облучения с прессурным воздействием Научно-производственной медико-биологической корпорацией «Лазер и здоровье» (г. Харьков, Украина) был разработан и серийно выпускается лазерный массажер «Барва-ЛМК».

Массажер предназначен для использования в неврологии, кардиологии, пульмонологии, гинекологии, отоларингологии, стоматологии, гастроэнтерологии, дерматологии, при заболеваниях опорно-двигательного аппарата, варикозном расширении вен, целлюлите, синдроме хронической усталости, в спортивной медицине для подготовки спортсменов к соревнованиям, в домашних условиях для индивидуального лечения и профилактики целого ряда различных заболеваний [21].

При проведении процедуры лазерным массажером «Барва-ЛМК» происходит раздражение, вызванное прессурным массажем ролика с остриями, которое воспринимается рецепторным аппаратом кожи, мышц, суставов и передается путем сложных рефлексов через вегетативные и анимальные нервы в высшие отделы ЦНС. Эти раздражения, достигнув ЦНС, вызывают ответные рефлекторные реакции сосудисто-двигательного и трофического характера. Под действием этих реакций усиливаются окислительно-восстановительные процессы, улучшающие питание мышц и способствующие укреплению и улучшению их моторных функций.

В составе массажера можно выделить два функциональных элемента – прозрачный ролик 1 с остриями для проведения прессурного массажа и лазерная система, размещенная на рукоятке 2 массажера внутри прозрачного ролика 1 (см. рис. 5.14).

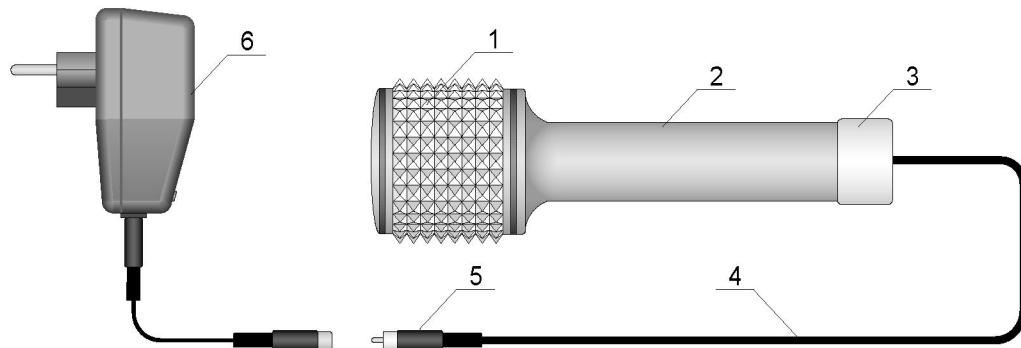


Рисунок 5.14 – Лазерный массажер «Барва-ЛМК»

Лазерная система состоит из 5 лазеров непрерывного действия, излучающих в красном диапазоне. Электропитание лазеров (в зависимости от модификации) осуществляется от аккумуляторных батарей, размещенных в рукоятке массажера, либо от электросети через специальный блок питания 6, к которому массажер подключается с помощью кабеля 4 с разъемом 5. В комплект поставки массажера с аккумуляторными батареями входит зарядное устройство, которое подключается к массажеру через разъем, расположенный в рукоятке 2 под колпачком 3. Включение и выключение лазеров массажера производится поворотом колпачка 3 включателя (для модификации массажера с аккумуляторными батареями) или простым включением (выключением) блока питания 6 в розетку питающей сети (для модификации массажера с сетевым электропитанием).

Технические данные лазерного массажера «Барва-ЛМК» приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5 – Технические данные лазерного массажера «Барва-ЛМК»

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Длина волны излучения лазеров	нм	650
Мощность излучения каждого из пяти лазеров	мВт	5
Модификация массажера с аккумуляторными батареями:		
- продолжительность непрерывной работы без подзарядки	ч	5
- напряжение питания зарядного устройства	В	220 ± 22
- частота напряжения питания зарядного устройства	Гц	50
- продолжительность зарядки аккумуляторных батарей	ч	16
- ток зарядки аккумуляторных батарей	мА	95
Модификация массажера с сетевым электропитанием:		

- напряжение питания блока питания	В	220 ± 22
- частота напряжения питания блока питания	Гц	50
- напряжение на выходе блока питания	В	14
Габаритные размеры массажера	мм	$215 \times \varnothing 63$

В зависимости от силы массажа, продолжительности его действия и состояния организма в различной степени изменяются: химизм мышечного обмена, улучшение крово- и лимфообращения, устранение венозных застоев, увеличение снабжения тканей кислородом, повышение тканевого обмена, ускорение выделения продуктов обмена.

5.4.7. Фотонная матрица «Барва-Флекс»

В настоящее время наряду с лазерами в терапевтических аппаратах все шире начинают использоваться более дешевые и удобные в эксплуатации источники света – полупроводниковые сверхяркие (суперяркие) светодиоды. При аналогичных параметрах излучения (для терапевтических нужд) эти источники света по сравнению с лазерами более компактны, просты и надежны. На базе таких светодиодов Научно-производственной медико-биологической корпорацией «Лазер и здоровье» (г. Харьков, Украина) были разработаны и серийно выпускаются фотонные матрицы «Барва-Флекс», различных модификаций.

Фотонные матрицы используются в кардиологии, пульмонологии, гинекологии, отоларингологии, стоматологии, гастроэнтерологии, дерматологии, в спортивной медицине, в домашних условиях для лечения и профилактики целого ряда заболеваний [22].

В основу лечебного действия фотонных матриц «Барва-Флекс» положена способность ЭМИ ИК и видимой части спектра увеличивать энергетическую активность клеточных мембран, приводить в действие регенерационные процессы, увеличивать поглощение кислорода тканями, стимулировать образование АТФ в митохондриях, что повышает биоэнергетический потенциал клеток. ЭМИ ИК и видимой части спектра имеет противовоспалительный, заживляющий и анальгезирующий эффекты, оно нормализует артериальное давление, снимает болевые синдромы в суставах, позвоночнике и мышцах.

Такое излучение нормализует работу регуляторных систем организма человека: иммунной, эндокринной и центральной нервной. Под действием ЭМИ ИК и видимой части спектра активизируется микроциркуляция в зоне облучения, что приводит к повышению эффективности использования лекарственных препаратов и позволяет снижать их дозировку. Сочетанное действие ЭМИ ИК и видимой части спектра фотонной матрицы

«Барва-Флекс» с ПМП магнитной матрицы «Барва-Флекс/Маг» повышает эффективность лечения ряда заболеваний.

Фотонная матрица «Барва-Флекс» представляют собой пластину 1 с двумя проушинами 2 и 3, позволяющими фиксировать матрицу на теле пациента с помощью резиновых ремней (рис. 5.15). Матрица изготавливается из гипоаллергичной медицинской резины и не вызывают раздражения кожных покровов. Каждая матрица содержит 24 суперярких светодиода (рис. 5.15, поз. 4, см. также табл. 5.7), расположенных по 6 штук в 4 ряда. Электропитание светодиодов осуществляется от электросети через специальный блок питания 7, к которому матрица подключается с помощью кабеля 5 с разъемом 6. При необходимости сочетанного воздействия ЭМИ ИК и видимой части спектра с постоянным магнитным полем на фотонную матрицу устанавливается магнитная матрица «Барва-Флекс/Маг» – 8.

Основные технические данные фотонной матрицы «Барва-Флекс» приведены в табл. 5.6.

Параметры излучения фотонных матриц «Барва-Флекс» различных модификаций приведены в табл. 5.7.

При выборе модификации фотонной матрицы для проведения процедуры, необходимо учитывать специфику действия ЭМИ, связанную с длиной его волны [23].

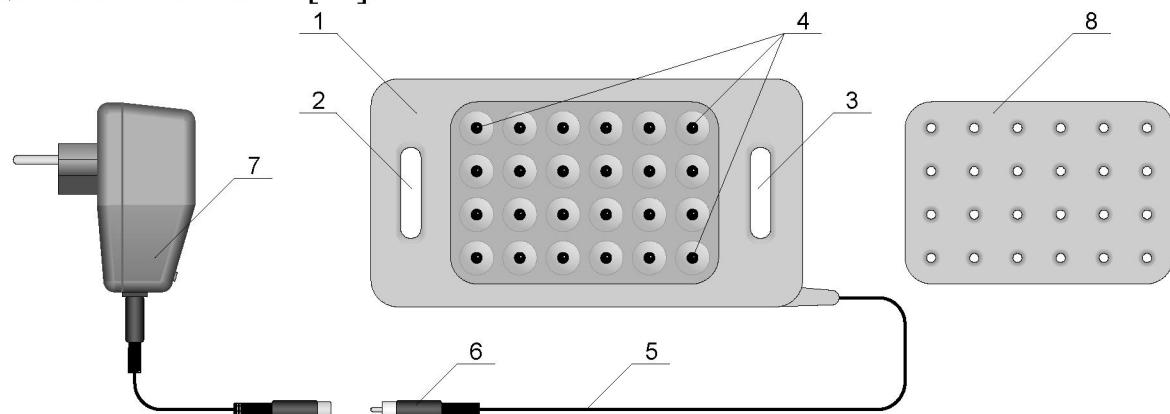


Рисунок 5.15 – Фотонная матрица «Барва-Флекс»

Таблица 5.6 – Технические данные фотонной матрицы «Барва-Флекс»

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Мощность излучения каждого из 24 светодиодов	мВт	5
Напряжение питания	В	220 ± 22
Частота напряжения питания	Гц	50
Выходное напряжение блока питания	В	14
Габаритные размеры фотонной матрицы «Барва-Флекс», не более	мм	190×98×15

Габаритные размеры магнитной матрицы «Барва-Флекс/Маг», не более	мм	120×80×3
---	----	----------

Таблица 5.7 – Параметры излучения фотонных матриц «Барва-Флекс»

Модификация	Излучение	Длина волны, нм	Кол-во светодиодов, шт.	Мощность излучения, мВт
1	2	3	4	5
«Барва-Флекс/К»	красное	660	24	120
«Барва-Флекс/Ж»	желтое	565	24	120
«Барва-Флекс/З»	зеленое	580	24	120
«Барва-Флекс/С»	синее	470	24	120
«Барва-Флекс/КИК»	красное	660	12	60
	инфракрасное	940	12	60
«Барва-Флекс/ЖИК»	желтое	580	12	60
	инфракрасное	940	12	60
«Барва-Флекс/ЗИК»	зеленое	525	12	60
	инфракрасное	940	12	60

Продолжение табл. 5.7

1	2	3	4	5
«Барва-Флекс/СИК»	синее	470	12	60
	инфракрасное	940	12	60
«Барва-Флекс/ПХ»	инфракрасное	940	8	40
	красное	660	4	20
	желтое	580	4	20
	зеленое	525	4	20
	синее	470	4	20

Фотонные матрицы «Барва-Флекс/К» имеют красный цвет излучения, который усиливает эмоции и стимулирует работу всех органов чувств, повышает внутренние ресурсы организма и жизненный тонус, активизирует деятельность печени и почек. Он стимулирует костно-мышечную систему, процессы кровообращения и теплообразования, повышает пониженное кровяное давление, устраняет застойные явления в органах.

Фотонные матрицы «Барва-Флекс/Ж» имеют желтый цвет излучения, который стимулирует интеллектуальные способности и мобилизует деятельность нервной системы, стимулирует работу лимфатической и кровеносных систем, релаксирует желудочно-кишечный тракт. Этот цвет ока-

зывает очищающее действие на печень, селезенку и кожу, восстанавливает запасы минеральных веществ и снижает кислотность в организме, умеренно снижает повышенное кровяное давление.

Фотонные матрицы «Барва-Флекс/З» имеют зеленый цвет излучения, который стабилизирует эмоции и гармонизирует все функции организма, нормализует деятельность сердечно-сосудистой системы (снижает сильное сердцебиение и сосудистый тонус, расширяет капилляры, стабилизирует кровяное давление, лечит аритмию), способствует восстановлению мышечной, костной и других тканей организма, проявляет антисептические и противомикробные свойства. Зеленый цвет эффективен при головных болях, бессоннице, изнурении, утомлении глаз, нарушениях зрения.

Фотонные матрицы «Барва-Флекс/С» имеют синий цвет излучения, который особенно эффективен при излишней эмоциональности, слабом контроле реакций, неадекватности поступков, склонности к пессимизму и используется при лечении различных заболеваний, возникающих на почве неврозов. Этот цвет обладает противовоспалительным, седативным, релаксирующим и болеутоляющим действием преимущественно на кожу, слизистые оболочки, легкие, кишечник, центральную нервную систему и кровь человека, применяется при лечении гнойных ран и гранулем. Синий цвет возбуждает функцию эндокринных желез (в том числе стимулирует паразитовидные железы), снижает температуру тела, повышает иммунитет человека.

Фотонные матрицы, содержащие кроме светодиодов основного цвета излучения инфракрасные светодиоды (см. табл. 5.7), могут быть использованы вместо монохромных матриц. Фотонные матрицы «Барва-Флекс/ПХ» кроме инфракрасных светодиодов содержат светодиоды красного, желтого, зеленого и синего цветов и используются для профилактики различного рода заболеваний.

Размещение фотонных матриц по отношению к телу пациента возможно тремя способами: дистантным, контактным и контактным с компрессией.

При дистантном способе облучения матрица располагается на некотором расстоянии от тела, в результате чего 5-10 % энергии ЭМИ отражается от его поверхности.

При контактном способе облучения практически вся энергия ЭМИ поглощается тканями организма, в котором она распространяется по законам нелинейной оптики из-за неоднородности тканей.

При компрессии тканей фотонной матрицей достигается наибольшая глубина проникновения для данной длины волны ЭМИ, кроме того, за счет уплотнения тканей, снижается степень дивергенции излучения, т.е. его рассеивание.

5.4.8. Фотонный зонд «Барва – ГПУ»

Воспалительные заболевания в гинекологии, проктологии и урологии являются в настоящее время широко распространенной патологией. В ряде случаев это обусловлено такими факторами, как низкая эффективность лекарственных препаратов, большое количество осложнений, увеличение числа заболеваний, передающихся половым путем, а также проблемы с полноценным обследованием пациентов. Несмотря на обилие методов лечения воспалительных заболеваний, внедрение в клиническую практику фототерапии существенно расширило возможности врачей и повысило качество проводимого лечения. Для проведения лечебных процедур в гинекологии, проктологии и урологии НИИ лазерной биологии и лазерной медицины (г. Харьков, Украина) и Горловским научно-практическим предприятием «Лазер и Здоровье» (г. Горловка, Украина) был разработан фотонный зонд «Барва-ГПУ».

В основу лечебного действия фотонного зонда положена способность ЭМИ ИК и красного диапазонов увеличивать энергетическую активность клеточных мембран, приводить в действие регенерационные процессы, оказывать противовоспалительный, анальгезирующий и заживляющий эффекты. При лечении гинекологических и урологических заболеваний фототерапию целесообразно сочетать с медикаментозной терапией. При этом в зоне воздействия ЭМИ происходит увеличение концентрации лекарственного вещества, его действие пролонгируется, а терапевтический эффект усиливается. Все это позволяет снизить дозировки применяемых лекарственных препаратов [24].

В фотонном зонде «Барва-ГПУ» излучающая система находится в активной части и защищена прозрачной пластиковой колбой 1, укрепленной на рукоятке 2 (см. рис. 5.16). Излучающая система зонда (в зависимости от модификации) содержит 6 светодиодов красного спектра или 3 светодиода красного спектра и 3 светодиода ИК спектра, размещенных в линию и чередующихся через один. В модификации фотонного зонда «Барва-ГПУ2» – 6 светодиодов красного спектра и 6 светодиодов ИК спектра. Электропитание светодиодов осуществляется от электросети через специальный блок питания 5, к которому зонд подключается с помощью кабеля 3 с разъемом 4.