

ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ АППАРАТУРЫ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ

Особенности лазерной терапевтической аппаратуры как объекта метрологического обеспечения

Лазерная терапевтическая аппаратура как объект метрологического обеспечения обладает рядом специфических особенностей, сдерживающих его развитие. Эти особенности имеют как субъективный, так и объективный характер.

К субъективным особенностям следует отнести следующие.

Во-первых, эксплуатация лазерной техники осуществляется в подавляющем большинстве случаев медицинскими специалистами, не обладающими достаточными техническими навыками и знаниями, которые требуют специальной физико-технической квалификации. Поэтому одним из основных эксплуатационных (по-существу, технологических) требований к лазерной и измерительной медицинской аппаратуре является задача технического ее упрощения, нецелесообразность создания сложных устройств контроля и управления. Дополнительно следует указать, что техническое обслуживание в процессе эксплуатации этой аппаратуры, как правило, осуществляется на недостаточно высоком уровне из-за отсутствия в медицинских учреждениях соответствующих специалистов.

Во-вторых, большинство современных лазерных аппаратов работают в инфракрасном диапазоне длин волн, где излучение визуально не может наблюдаться и контролироваться при эксплуатации аппарата медицинским специалистом, что еще более усугубляет указанные выше трудности.

Объективные особенности лазерной медицинской аппаратуры носят принципиальный характер, в первую очередь связанный с расходимостью лазерного излучения. В отличие от газовых и твердотельных лазеров полупроводниковые, получившие в последние годы широкое распространение и занявшие доминирующее положение в лазерной медицинской аппаратуре,

из-за малых размеров резонаторов обладают значительно большей расходимостью излучения. Это приводит к специфике техники измерений мощности излучения в соответствующей лазерной медицинской аппаратуре.

Вследствие большой расходимости и специфической диаграммы направленности излучение головки происходит в достаточно большом телесном угле (до 60 и более градусов). Для измерения всей мощности таких излучателей в технике обычно применяют приборы с полостными приемниками или полостными приемными головками [1], в частности на основе фотометрического шара (ФМШ), обеспечивающего перехват излучения в очень большом (до 180 градусов) телесном угле. (Дополнительно в средствах измерений на основе ФМШ применяются меры по коррекции спектральной характеристики чувствительности, значительно снижающие зависимость чувствительности от длины волны излучения.)

Однако габаритные размеры ФМШ, более сложные по сравнению с простейшими фотометрами системы регистрации не позволяют применять их в конструкции лазерных терапевтических аппаратов. Как правило, в ЛТА используются фотометры на основе полупроводниковых фотоприемников с плоской поверхностью и ограниченной угловой апертурой. Это приводит к тому, что при измерении в фотометр попадает только часть излучения, ограниченная апертурой фотоприемника. Кроме того, происходит значительное переотражение падающего под большими углами от поверхности фотоприемника излучения. Вследствие этого результаты измерения мощности оказываются заниженными.

Такой же результат получается и при калибровке ЛТА, если в качестве средства измерения не используется ФМШ. Поэтому основную метрологическую «нагрузку», связанную с обеспечением достоверности и единства измерений мощности оптического излучения, переносят на специализированную контрольно-измерительную и поверочную аппаратуру, находящуюся в специализированных метрологических подразделениях или центрах. Такой подход сужает требования к фотометрам лазерных медицинских аппаратов и квали-

фикационные требования к работающему с ними персоналу, обеспечивая одновременно необходимые метрологические характеристики указанных аппаратов.

Использование в практике применения лазерных медицинских аппаратов разнообразных оптических насадок, также ослабляющих излучение и существенным образом изменяющих геометрию пучка, наряду с указанными выше особенностями приводит к дополнительному усложнению метрологического обеспечения в рассматриваемой области.

Дополнительно следует обратить внимание еще на один важный момент, связанный с дальнейшим развитием лазерной медицинской техники. Создание ЛТА нового поколения, предусматривающее введение обратных связей между пациентом и лазерным аппаратом, придание аппаратуре ряда диагностических функций, автоматизацию процесса лечения и т.п. в обязательном порядке требует обеспечения возможности достоверного измерения параметров излучения и гибкого управления этими параметрами. Выполнение этих требований невозможно без наличия в составе аппаратов специализированных средств измерения и соответствующего метрологического обеспечения их.

Некоторые аспекты основных технических решений метрологического обеспечения лазерной терапевтической аппаратуры

При рассмотрении вопросов метрологического обеспечения медицинской лазерной аппаратуры необходимо учитывать как существующий в настоящее время парк медицинской аппаратуры и соответствующей контрольно-измерительной техники, так и перспективы ее дальнейшего развития и совершенствования. При этом позиция, с которой нужно проводить это рассмотрение, должна в первую очередь учитывать общегосударственные задачи и интересы, включая и интересы потребителя (медицинские учреждения), а не интересы отдельного производителя или разработчика лазерной медицинской аппаратуры.

С этой точки зрения следует критически проанализировать существующую контрольно-измерительную технику, применяемую для медицинской лазерной аппаратуры. Специализированные для медицинской лазерной аппаратуры контрольно-измерительные приборы в стране практически отсутствуют (речь идет о приборах, прошедших соответствующие государственные испытания и метрологическую аттестацию и внесенные в Государственный реестр средств измерений). Исключением можно считать такие приборы, как фотометры «АЛЬФА-СТАНДАРТ» и ИФМ-05, выпускаемые в ограниченном количестве. Сюда же можно отнести приборы дозиметрического контроля типа МДЦ-2М, ЛДМ-2, ЛДК (однако они имеют специализированное назначение и в качестве фотометров могут применяться только при определенных условиях). Использование же в повседневной медицинской практике измерительных приборов общетехнического назначения затруднено вследствие их высокой стоимости и требований по квалификации обслуживающего персонала.

Основная часть приборов, которые применяются в медицинской практике для контроля и измерения мощности лазерного излучения, фактически «измерительными приборами» называться не могут, хотя и получили, в особенности - малогабаритные, довольно широкое распространение. Это связано с тем, что метрологической аттестации этих приборов не проводилось и их «метрологические» характеристики, вносимые в паспорт, вызывают обоснованное недоверие. Реально в настоящее время такие приборы могут являться только индикаторами, обеспечивающими лишь качественную, а не количественную оценку энергетических параметров излучения. В результате их практического применения в медицинской практике достоверность и единство измерений отсутствуют, что часто приводит к снижению эффективности и несовместимости результатов лечения при использовании однотипных лазерных аппаратов и одинаковых методик лечения.

Поскольку необходимость контроля и измерения энергетических параметров лазерного излучения медицинской аппаратуры в повседневной практике очевидна, следует признать целесообразность применения специализированных, тех-

нически простых фотометров и создания соответствующей системы их метрологического обеспечения. При этом фотометры, которые применяются в практике врачами, должны быть недорогостоящими, предельно простыми, удобными и надежными в эксплуатации. Этим требованиям вполне удовлетворяют простые по схеме фотоэлектрические фотометры на основе полупроводниковых фотоприемников (как правило, используются кремниевые фотодиоды типа ФД-24К). По своему назначению такого рода фотометры принципиально могут быть двух типов: в виде самостоятельного, конструктивно независимого прибора (далее – «малогабаритный фотометр») и в виде встроенного в лазерный аппарат прибора, конструктивно составляющего с аппаратом единое целое (далее – «встроенный фотометр»).

Малогабаритный фотометр предназначен для оперативного контроля и измерения мощности излучения различных лазерных аппаратов, находящихся в эксплуатации в медицинском кабинете или учреждении, а встроенный фотометр – только для собственного (в который он встроен) лазерного аппарата.

При использовании малогабаритных фотометров для контроля мощности медицинских аппаратов на основе газовых или твердотельных лазеров не возникает принципиальных или специфических трудностей и не требуется особой квалификации от персонала. Это объясняется следующим.

Во-первых, излучение газовых и твердотельных лазеров происходит на фиксированных длинах волн, определяемых веществом рабочего тела лазера и не зависящих от его типа и конструкции. Эти длины волн также (с практической точки зрения) не зависят от влияния внешних факторов. Например, длина волны излучения всех лазеров на HeNe (на основном переходе) – 0,63 мкм, длина волны излучения всех лазеров на неодиме (основная гармоника) – 1,06 мкм и т.д. Для учета влияния спектральной характеристики фотоприемника при этом достаточно вводить поправочный коэффициент для результатов измерения на ограниченное количество измеряемых длин волн (либо в табличной форме, либо фиксировано изменяя чувствительность фотоприемника) при его калибровке.

Во-вторых, излучение газовых и твердотельных лазеров характеризуется

малой угловой расходимостью, что без дополнительных устройств обеспечивает практически полное попадание излучения на площадку, ограниченную входной апертурой фотоприемника. При этом углы падения осевых и периферийных лучей пучка излучения мало отличаются.

Для метрологического обеспечения (калибровки и поверки) таких фотометров не требуется специализированного оборудования, так как вполне достаточно существующих общетехнических средств метрологического обеспечения.

В случае применения в медицинских лазерных аппаратах полупроводниковых лазеров является нецелесообразным использование малогабаритных фотометров для измерения мощности излучения, по мнению автора [2], по следующим причинам.

Во-первых, большая расходимость излучения полупроводниковых лазеров и связанное с ней неполное попадание потока излучения на приемную площадку фотометра, ограниченную апертурой фотоприемника, приводит к большой погрешности измерения мощности и, фактически, к недостоверности результатов такого измерения. Применение на входе фотометра специальных оптических систем, обеспечивающих сбор и фокусировку излучения на приемную площадку, связано со значительным усложнением и удорожанием фотометра. Поэтому такое техническое решение применяется крайне редко. Конструктивный вариант, при котором излучатель располагается вплотную к фотоприемнику и таким образом может быть обеспечено практически полное попадание излучения на фотоприемник, не всегда может быть реализован из-за особенностей конструкции излучающей головки лазерного аппарата. Кроме того, вследствие большой угловой расходимости излучения углы падения (и, соответственно, коэффициенты отражения от поверхности фотоприемника) для различных лучей пучка излучения значительно отличаются. Поэтому при измерении одинаковой мощности излучения различных лазерных головок результаты измерения могут существенно отличаться. Учет влияния расходимости излучения для различных головок весьма затруднен из-за различий диаграммы направленности излучения даже однотипных лазеров.

Во-вторых, достаточно большой разброс длин волн излучения полупроводниковых лазеров, а также зависимость длины волны от воздействия внешних факторов (например, температуры) приводит к существенным погрешностям измерения мощности, связанным со спектральной характеристикой чувствительности фотоприемника. Для снижения погрешности возможно применение корректирующих светофильтров, выравнивающих характеристику чувствительности фотоприемника на определенном участке спектрального диапазона. Однако это связано с определенным усложнением фотометра и снижением его чувствительности.

Фотометр, дозиметр и индикатор – назначение, особенности, область применения

В качестве средств корректного контроля лазерного излучения, применяемого в медицинской практике, используются оптико-электронные технические устройства на основе фотоприемников, обеспечивающие преобразование оптического лазерного излучения в электрический сигнал с последующим изменением его в форму, удобную для визуального наблюдения. В зависимости от своего функционального назначения такие устройства делятся на фотометры, дозиметры и индикаторы. По структуре эти три типа устройств идентичны и относятся к средствам измерения параметров оптического излучения. Их отличие определяется требованиями, вытекающими из функционального назначения и в основном заключаются в следующем.

Индикаторы как средства измерения применяются только для установления факта изменения параметров оптического излучения без количественной оценки этого изменения. Наиболее простые индикаторы служат лишь для бинарной («есть-нет») оценки наличия и отсутствия оптического излучения. Более сложные индикаторы позволяют визуально наблюдать характер изменения (уменьшение или увеличение) мощности оптического излучения. Производить отсчет, то есть осуществлять измерение значения

мощности излучения, индикаторы не позволяют. В связи с этим, как средства измерения индикаторы первичной и периодической поверке и калибровке не подвергаются.

Дозиметр – средство измерения параметров лазерного луча в заданной точке пространства с целью выявления степени опасности воздействия на организм человека, животных и на растения [3]. При этом дозиметр, в отличие от индикатора, позволяет осуществлять не только контроль наличия оптического излучения, но и проводить измерение значения энергетических параметров этого излучения. Обычно, дозиметры применяются для контроля воздействия как прямого, так и отраженного излучения на организм с точки зрения не превышения предельно-допустимых уровней (ПДУ) и градуированы в единицах мощности (Вт), энергии (Дж), облученности (Вт/см^2) или энергетической экспозиции (Дж/см^2). При этом доза воздействия определяется как интегральное значение параметра излучения, прошедшего через фиксированную по размеру ограничивающую апертуру. Погрешность измерения дозиметров, как правило, находится в пределах 20-30 %. Нередко в дозиметрах применяются формирующие входные оптические элементы. Как средства измерения, предназначенные для количественных оценок, дозиметры подлежат обязательной первичной и периодической поверке и калибровке.

Фотометр – это средство измерения, предназначенное для количественной оценки значения параметров оптического излучения с данной степенью точности. Он является наиболее совершенным из рассматриваемой группы устройств. Как правило, фотометры применяются для контроля и измерения полного интегрального значения энергетических параметров оптического излучения и градуированы в единицах мощности (Вт) или энергии (Дж). Погрешность измерения фотометров не превышает 15-20 %. Обычно в фотометрах применяются формирующие оптические элементы, обеспечивающие усреднение потока по площади поперечного сечения и собирание его на приемную площадку фотоприемника. Как средства измерения, предна-

значенные для количественных оценок, фотометры подлежат обязательной первичной и периодической поверке и калибровке.

Пара «излучатель-приемник» – основная специфика метрологического обеспечения лазерной терапевтической аппаратуры

Применение для измерения мощности излучения полупроводниковых лазеров сложных специализированных фотометров в медицинской практике нецелесообразно как с экономической точки зрения, так и с точки зрения технического обслуживания и эксплуатации таких фотометров. Поэтому в большинстве современных лазерных аппаратов используются достаточно простые встроенные малогабаритные фотометры на основе полупроводниковых фотоприемников. В отличие от рассмотренных выше средств измерения – малогабаритных фотометров, встроенные позволяют во многом исключить свойственные последним недостатки. С метрологической точки зрения идея заключается в следующем.

Основными недостатками малогабаритных фотометров является возникновение систематических погрешностей измерения за счет двух факторов:

- неполное попадание всего потока излучения на чувствительную поверхность фотоприемника, а также различное значение коэффициента отражения на осевой и периферийной части потока излучения для достаточно больших телесных углов;
- существенная зависимость чувствительности фотоприемника (как правило, кремниевого) от длины волны излучения.

При использовании встроенных в лазерный аппарат фотометров следует рассматривать, по-существу, сопряженную пару «излучатель-приемник». В этом случае измерение мощности излучения конкретного полупроводникового лазера проводится всегда одним и тем же конкретным фотоприемником. Указанные выше факторы существуют и в этом случае, так же как и возни-

кающие вследствие этого систематические погрешности. Однако при проведении калибровки встроенного фотометра по образцовому средству измерения – фотометрическому шару (ФМШ) методом компарирования (то есть методом сравнения) эти систематические погрешности исключаются (при этом излучатель терапевтического аппарата выполняет функцию компарирующего элемента). Технически операция калибровки выполняется следующим образом (рис. 1).

Излучатель лазерного аппарата устанавливается в ФМШ и проводится измерение значения всей мощности излучения. Затем этот излучатель устанавливается во встроенный фотометр аппарата, и отсчет фотометра приводится в соответствие с измеренным по ФМШ значением мощности излучения. При этом автоматически учитываются все специфические особенности данного излучателя и данного фотоприемника, то есть исключаются указанные выше систематические погрешности измерений. В дальнейшем, при эксплуатации лазерного аппарата, измерения мощности проводятся уже только по встроенному фотометру в течение всего межповерочного интервала, который, как правило, составляет 12-18 месяцев.

Последующая периодическая поверка лазерного аппарата должна также проводиться указанным методом. При замене в аппарате излучателя или фотоприемника обязательным является проведение новой калибровки данного лазерного медицинского аппарата.

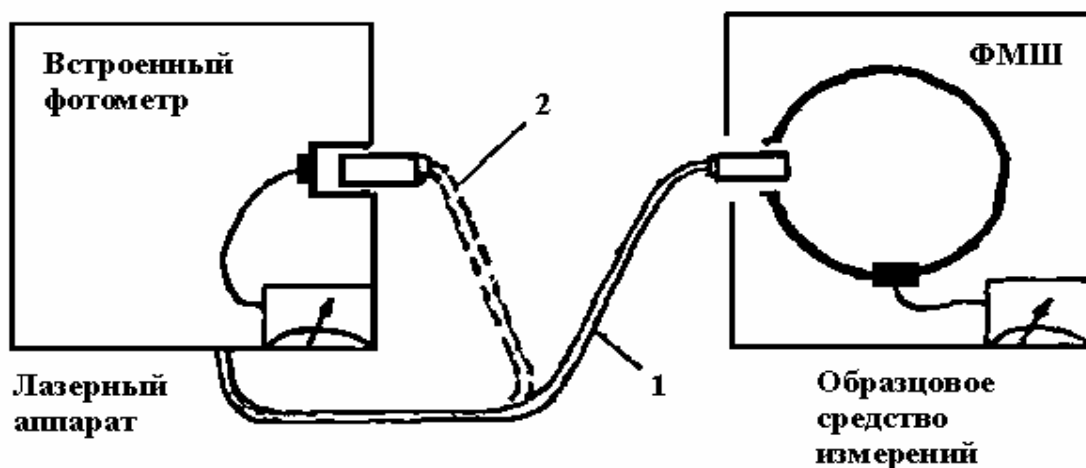


Рис. 1 – Калибровка встроенного фотометра методом компарирования:

1 – измерение мощности излучения головки с помощью ФМШ; 2 – измерение мощности излучения головки с помощью встроенного фотометра

Такой подход позволяет значительно упростить рабочий (встроенный) фотометр, сохранив при этом его способность корректного измерения мощности данного излучателя за все время его эксплуатации. При этом основная метрологическая нагрузка и связанные с ней экономические и технические сложности обеспечения достоверности и точности измерений мощности излучения ложатся не на лазерный аппарат со встроенным фотометром, а на образцовое средство измерений.

Литература

1. Измерение энергетических параметров и характеристик лазерного излучения / Под ред. А.Ф. Котюка.- М.: Радио и связь, 1981. - 288 с.
2. Ромашков, А.П. Аппаратура для лазерной терапии: метрология, унификация, стандартизация. Ротапринт ВНИИОФИ, – М., 1995. – 54 с.
3. ГОСТ 24453-80. Измерения параметров и характеристик лазерного излучения. Термины, определения и буквенные обозначения величин.