

Л.А. Бондарева
А.В. Дунаев

**СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ПАРАМЕТРОВ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л.А. Бондарева, А.В. Дунаев

**СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ
ПАРАМЕТРОВ НИЗКОИНТЕНСИВНОГО
ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Рекомендовано редакционно-издательским советом ОрелГТУ
в качестве учебного пособия

Орел 2004

УДК 615.849.19(075)

ББК 53.54я7

Б81

Рецензенты:

Профессор, доктор физико-математических наук

Э.Ф. Казанцев

Профессор, доктор технических наук

С.Ф. Корндорф

Б81 Бондарева Л.А. Системы измерения и контроля параметров низкоинтенсивного лазерного излучения: лабораторный практикум: Учебное пособие / Л.А. Бондарева, А.В. Дунаев. – Орел: ОрелГТУ, 2004. – 70 с.

Учебное пособие посвящено проблеме контроля и дозиметрии при низкоинтенсивной лазерной терапии. Проводится анализ возможностей физиотерапевтического воздействия при реализации стандартной методики и при использовании двух методов коррекции лазерного воздействия, использующих обратную связь, что позволяет, основываясь на информации о состоянии пациента до и во время процедуры, осуществлять коррекцию оказываемого воздействия непосредственно в процессе проведения терапевтической процедуры.

Предназначено для студентов специальности 190600 – «Инженерное дело в медико-биологической практике».

УДК 615.849.19(75)

ББК 53.54я7

© ОрелГТУ, 2004

© Бондарева Л.А.,

Дунаев А.В., 2004

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Общие указания.....	5
1.1 Назначение и структура лабораторных работ.....	5
1.2 Подготовка к выполнению лабораторной работы.....	6
1.3 Порядок выполнения лабораторной работы.....	6
1.4 Оформление отчета по лабораторной работе.....	7
2 Меры безопасности.....	8
3 Теоретическая часть.....	9
4 Описание лабораторных работ.....	18
4.1 Лабораторная работа № 1. Терапевтическая биотехническая система нормализации состояния биологического объекта.....	18
4.2 Лабораторная работа № 2. Биотехническая система контроля отражения излучения от биоткани и поглощения мощности излучения в эпидермисе при низкоинтенсивной лазерной терапии.....	30
4.3 Лабораторная работа № 3. Биотехническая система контроля магнито-инфракрасного лазерного излучения с биологической обратной связью.....	45
Литература.....	64
Приложение А. Форма титульного листа отчета по лабораторной работе.....	65
Приложение Б. Пример расчета на ЭВМ поглощаемой в эпидермисе мощности излучения и поглощенных доз внутренними тканями при НИЛТ внутренних органов (лабораторная работа № 2).....	66
Приложение В. Используемое оборудование.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие посвящено проблеме контроля и дозиметрии при низкоинтенсивной лазерной терапии (НИЛТ). Среди физиотерапевтических методов воздействия особое место занимает низкоинтенсивное лазерное излучение (НИЛИ), благодаря таким специфическим свойствам излучения, как: фиксированная длина волны (монохроматичность); упорядоченность в ориентации векторов напряженности электрических и магнитных полей световой волны (поляризация); малая расходимость пучка (высокая направленность); высокая энергетическая интенсивность. Кроме того, глубина проникновения лазерного излучения в биообъект для ближнего инфракрасного диапазона достигает 50 мм (при длине волны 0,95 мкм доходит 0,1 % мощности). Указанные свойства НИЛИ позволяют использовать лазерную терапию практически при всех нарушениях гомеостаза, в том числе при лечении ряда внутренних органов.

В настоящее время существует более 100 различных модификаций лазерных терапевтических аппаратов. Однако лечебный эффект далеко не всегда воспроизводим или гарантирован. Это вызывает дискуссии об оптимальных параметрах лазерного луча (плотности мощности, дозах, времени) и противопоказаниях к его использованию. До сих пор рекомендуемые параметры плотности мощности в разных руководствах отличаются в сотни и более раз (от 0,5 до 200 мВт/см²), а рекомендуемые дозы варьируют от 0,1 до 120 Дж/см². На практике многие врачи встречаются с негативными побочными влияниями, но, как правило, их объясняют неправильно выбранными параметрами, индивидуальной непереносимостью, сопутствующими заболеваниями. Возникло даже понятие «лазерная аллергия».

Введение цепей обратных связей позволяет осуществлять коррекцию лазерного воздействия, основываясь на информации о состоянии пациента до и во время процедуры, т.е. непосредственно в процессе проведения терапевтической процедуры. В ходе выполнения лабораторного практикума, включенного в пособие, студенты знакомятся с аппаратом, реализующим стандартную методику физиотерапевтического воздействия, и двумя методами коррекции лазерного воздействия, использующими биологическую обратную связь, и способами их реализации.

1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

1.1 Назначение и структура лабораторных работ

Лабораторные работы, включенные в учебное пособие, направлены на углубление знаний в области биотехнических систем терапевтического типа, в частности, в которых осуществляется биологическая обратная связь, и направлены на ознакомление студентов с возможностью осуществления коррекции лечебного физиотерапевтического воздействия во время процедуры и с преимуществами, которые дает такая коррекция.

Выполнение лабораторных работ должно закрепить знания, полученные студентами на лекциях, привить навыки проведения экспериментальных исследований и анализа полученных результатов измерений, а также научить студентов применять системный подход при проведении исследований в медико-биологической практике и метод системного синтеза при разработке структур биотехнических систем.

Обязательный лабораторный практикум по курсу «Основы теории биотехнических систем» рассчитан на восемь аудиторных часов и содержит три лабораторные работы.

В первой лабораторной работе «Терапевтическая биотехническая система нормализации состояния биологического объекта» студент знакомится с широко применяемым в практике физиотерапии аппаратом низкоинтенсивного лазерного воздействия и получает навыки коррекции оказываемого на биообъект лазерного воздействия без использования биологических обратных связей, т.е. изучает стандартную методику физиотерапевтических процедур. В процессе работы экспериментально исследуются зависимости мощности и дозы импульсного лазерного излучения от параметров настройки лазерного терапевтического аппарата и разрабатывается структура биотехнической системы.

Вторая лабораторная работа «Биотехническая система контроля отражения излучения от биоткани и поглощения мощности излучения в эпидермисе при низкоинтенсивной лазерной терапии» позволяет студенту ознакомиться с возможностью коррекции дозы излучения, поглощаемой биологическими тканями, в процессе проведения процедуры.

При выполнении этой работы студенты анализируют возможные факторы, которые ведут к потере поглощаемой мощности лазерного

излучения; применяя предложенную методику, определяют мощность излучения, поглощаемую в эпидермисе, и разрабатывают структуру используемой ими биотехнической системы.

При выполнении третьей лабораторной работы “Биотехническая система контроля магнито-инфракрасного лазерного излучения с биологической обратной связью” студент знакомится с возможностями квантовой терапии и методом биологической лазерной хронотерапии, экспериментально определяет биоритмы организма и разрабатывает биотехническую систему с обратной биологической связью.

1.2 Подготовка к выполнению лабораторной работы

Подготовка к выполнению лабораторной работы заключается в изучении студентами теории по теме работы. В данном пособии по теме каждой работы приведен необходимый теоретический материал и перечень контрольных вопросов, служащих для определения готовности студента к выполнению работы. Кроме того, при подготовке студент также должен использовать конспект лекций.

На контрольные вопросы студент готовит краткие письменные ответы, которыми он может пользоваться во время собеседования с преподавателем. Подготовку к лабораторной работе студент выполняет самостоятельно во внеаудиторное время. Консультации по подготовке к работе проводятся преподавателем согласно расписанию.

На лабораторные занятия студент должен являться с отчетом, предварительно подготовленным в соответствии с вышеуказанными требованиями. Студент, не подготовивший отчет или не прошедший собеседования с преподавателем, к выполнению лабораторной работы не допускается.

1.3 Порядок выполнения лабораторной работы

Выполнение каждой лабораторной работы с оформлением ее результатов занимает четыре часа. Аудиторное время студент использует:

– для собеседования с преподавателем по теоретической части работы;

- ознакомления с описанием, инструкциями и правилами эксплуатации используемых в работе приборов и оборудования;
- проведения экспериментального исследования, обработки результатов исследования;
- разработки структуры биотехнической системы;
- оформления отчета.

Отчет по работе должен обязательно завершаться выводами, сделанными студентом на основе результатов проведенных исследований.

Непосредственно после завершения практической части студент должен отчитаться о проделанной работе перед преподавателем и показать знание того материала, который изложен в его отчете по практической части работы.

1.4 Оформление отчета по лабораторной работе

Отчет по работе выполняется каждым студентом самостоятельно на листах стандартного формата (210x297). Допускается использование листов из ученической тетради «в клетку».

Отчет должен содержать:

- цель работы;
- ответы на контрольные вопросы;
- технические характеристики оборудования и приборов, используемых в работе;
- результаты экспериментальных исследований и расчетов;
- структурную схему исследованной биотехнической системы;
- выводы по результатам проведенных исследований.

Титульный лист отчета оформляется в соответствии с приложением А.

Технические характеристики оборудования и приборов, используемых в работе, могут быть занесены в таблицу или представлены таким же образом, как в паспортах на это оборудование. Выводы по работе должны быть изложены кратко, но содержать все необходимые сведения и быть подтверждены данными, содержащимися в отчете.

Схемы, графики и таблицы необходимо выполнять карандашом с помощью чертежного инструмента в соответствии с требованиями ЕСКД и ГОСТ 2.105 [1]. Отчеты, оформленные не по стандарту, к защите не принимаются.

2 МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

Во время выполнения лабораторного практикума при работе с лазерными терапевтическими аппаратами потенциальную опасность могут представлять поражение электрическим током и излучение лазеров.

По электробезопасности аппараты выполнены по ГОСТ 50267.0–92. При их эксплуатации необходимо соблюдать следующие меры безопасности:

- перед включением аппарата в сеть обязательно проверить исправность сетевого шнура и блоков излучения;
- запрещается включать аппарат в сеть при повреждении сетевого шнура;
- включать аппараты в сеть 220 В через розетки, к которым подключен заземляющий контур;
- не оставлять без присмотра электронный блок включенным в электросеть;
- не допускать затекания внутрь аппарата любых и особенно токопроводящих жидкостей.

По степени опасности генерируемого лазерного излучения используемые лазерные терапевтические аппараты соответствуют ГОСТ 12.1.040–83.

Категорически **ЗАПРЕЩАЕТСЯ**:

- направлять лазерное излучение в глаза и смотреть параллельно лучу;
- направлять лазерное излучение на металлические, зеркальные поверхности, белую бумагу и прочие поверхности белого цвета, а также вносить в область воздействия луча блестящие предметы (кольца, часы, зеркало и т.д.), которые вызывают отражение света и увеличивают возможность попадания его в глаза.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Биотехническая система (БТС) – это особый класс больших систем, представляющий собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления. БТС включает в себя биологические и технические подсистемы, которые объединены прямыми и обратными связями и общими алгоритмами управления.

К биотехническим системам в одинаковой степени относятся системы, в которых человек выполняет роль управляющего звена (системы эргатического типа), и технические системы, управляющие организмом человека (искусственное дыхание, кровообращение) и целыми популяциями живых организмов (биотехнические системы принудительного управления поведением животных). Их преимущество перед техническими и биологическими системами заключается в сочетании положительных качеств обеих систем при взаимной компенсации их недостатков. Однако различная природа сочетаемых систем делает особенно важным в процессе синтеза БТС выбор режимов функционирования технической части системы и применение таких конструктивных решений элементов, которые бы максимально соответствовали морфологическим и психофизиологическим особенностям сопрягаемых с ней биологических объектов системы.

Как объект исследования в качестве биологической подсистемы выступает человек либо функциональные системы его организма, а также другие живые организмы. Техническая подсистема включает различные устройства и целые комплексы и, как правило, ЭВМ.

Выделяют три *основные задачи синтеза БТС*, который осуществляется на основе бионической методологии:

1. Выживаемость системы при изменении факторов внешней и внутренней среды и приспособление ее к изменению этих факторов. Таким образом, совокупность технических и биологических подсистем и связей между ними должна обеспечить реализацию целевой функции системы в нестационарной внешней среде, оказывающей дезорганизующее и разрушающее воздействие на систему.

2. Живая часть системы должна непрерывно получать информацию о состоянии внешней среды, характере поставленной перед БТС задачи и ее динамических изменениях, а также о состоянии сопряженных с ней технических элементов системы. При этом форма представления информации должна быть удобной для восприятия, адекват-

ватной и достаточной для построения модели ситуации, в которой находится вся подсистема, что позволит правильно и вовремя скорректировать алгоритм или режим функционирования биологической подсистемы.

3. Адаптации технических элементов системы, их совокупности и режимов функционирования к изменению состояния сопряженной с ними биологической системы. Эта задача решается путем создания систем непрерывной (текущей) диагностики состояния живого организма. При этом система текущей диагностики может быть либо самостоятельной, автономной, либо подсистемой контура диагностики и нормализации состояния.

Основным свойством БТС является ее *суперадаптивность*, то есть наличие двух контуров адаптации: внешнего и внутреннего. Внешний контур обеспечивает биотехнической системе возможность выполнять свою целевую функцию в условиях переменных воздействий внешних факторов. Внутренний контур позволяет элементам БТС взаимно адаптироваться к изменению состояния друг друга, вызванного воздействием как внешних, так и внутренних факторов.

Таким образом, наличие в БТС биологических звеньев позволяет придать общим свойствам системы особую пластичность, улучшить адаптивные характеристики во внешнем контуре адаптации. В то же время качество внутренней адаптации существенно зависит от возможностей технических элементов системы следить за изменением состояния биологических звеньев и, обмениваясь информацией с живой частью системы, соответственно изменять свои характеристики.

Свойства БТС воплотились в *основных принципах сопряжения* биологической и технической подсистем в единой функциональной системе:

1. *Принцип адекватности* требует согласования основных конструктивных параметров и "управленческих характеристик" биологических и технических элементов БТС.

2. *Принцип единства информационной среды* требует согласования свойств информационных потоков, циркулирующих между техническими и биологическими элементами как в *афферентных*, так и в *эфферентных* цепях БТС.

Особая сложность биотехнических систем обусловлена сложностью организма, представляющего собой единое взаимосогласованное функционирование многих физиологических систем, а также несовершенством существующих методов исследования и математическо-

го аппарата, не позволяющего адекватно описывать данные системы. В связи с этим такие системы должны характеризоваться с более общих методологических позиций. В частности, с позиции системного подхода, когда на первое место ставится не анализ составных частей объекта как таковых, а его характеристика как целого, раскрытие механизмов, обеспечивающих целостность объекта.

При анализе биообъекта как элемента БТС необходимо учитывать диапазоны параметров взаимодействующих с ним физических полей, с помощью которых осуществляется непосредственный контакт с биообъектом, в частности, при лазерном воздействии (рис. 1). Эти параметры взаимодействующих с объектом полей не должны превышать физиологический диапазон, при котором возможны необратимые изменения или патологические состояния.

Выделяют величину ΔR , называемую радиусом адаптации, причем ΔR_B называют радиусом адаптации биологической подсистемы в БТС (в качестве примера рассматриваются оптические свойства (отражение, рассеяние, поглощение), тип биоткани, глубина расположения патологии, физиологическое состояние и др.), а ΔR_T – радиусом адаптации технической подсистемы в БТС (длина волны, мощность, монохроматичность, расходимость пучка излучения, конструкция биофотометра, время воздействия и др.)

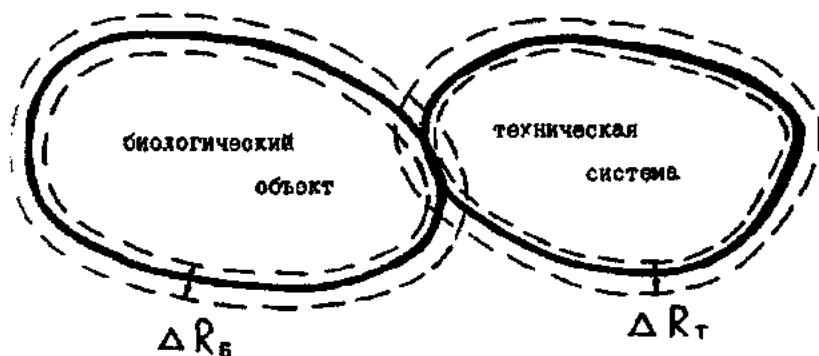


Рис. 1. Параметры адаптации биологической и технической систем применительно к лазерным системам

В случае если параметры биообъекта превышают адаптацию технических элементов, то БТС не способна правильно понять и выработать тактику терапевтического воздействия. Если параметры технических элементов превышают адаптацию биообъекта, то воздействие, оказываемое БТС на биообъект, может привести к негативным последствиям. Кроме этого широкий диапазон параметров живых систем, изменчивость понятия "норма" в их оценке, зависимость характеристик от многих трудно учитываемых факторов, взаимосвязь между параметрами разных систем организма создают дефицит информации о существе процессов, определяющих состояние биообъекта.

Варьирование параметров воздействия: частоты, мощности, времени экспозиции и т.д. позволяет исследовать зависимости ответов объекта, то есть его реакцию на дозированное возмущение. Исследование ответов биосистемы и разработка новых методов и аппаратов для воздействия на нее являются одним из развивающихся направлений БТС.

На первом этапе исследуются свойства биообъекта и на основании известных данных о механизмах взаимодействия лазерного излучения с биотканью и основных эффектах подбираются оптимальные параметры лазерного излучения (мощность, длина волны, режим генерации, экспозиция, поляризация и др.). Параметры возникающей зоны воздействия обусловлены параметрами технической системы, а также биологической системы и внешней среды.

На основе принципа единства информативной среды связь между этими тремя группами параметров определяет возможность оптимизации и управления воздействием, которое в данном случае является информационно-энергетическим. Таким образом, оптимизируемые параметры технической системы задаются характеристиками зоны воздействия с учетом соответствующих свойств биологической системы.

Если достигнута цель воздействия лазерного излучения на биообъект, то такое воздействие считается эффективным, что в реальных системах встречается редко. Неэффективность воздействия обусловлена реакцией объекта воздействия, которая может быть различной:

- реакция может быть предусмотрена;
- реакция не может быть предусмотрена, но происходит в соответствии с известными законами, связывающими ее с воздействием;
- реакция не может быть предусмотрена, и неизвестна зависимость между ней и воздействием.

Таким образом, вследствие неоднозначной реакции биоткани на оказываемое воздействие необходимо управление параметрами этого воздействия, его коррекция. На рис. 2 показана связь трех групп параметров БТС лазерного воздействия в первом приближении. Варьируя плотность мощности P (плотность энергии E), длину волны λ и длительность лазерного импульса τ , учитывая оптические свойства конкретной среды, можно получить заданный температурный профиль $\Delta T(x)$, т.е. коэффициент поглощения α . Радиус зоны лазерного воздействия R зависит при заданной плотности энергии E от теплопроводности $k_{\text{тп}}$ и радиуса луча r . Глубина зоны воздействия L определяется теплоемкостью c и коэффициентом поглощения биоткани β и меняется при изменении плотности энергии и длины волны.

Рассматривая параметры биообъекта, нетрудно заметить, что при больших коэффициентах поглощения α поглощение излучения будет происходить в тонком слое, а при малых α излучение будет проникать вглубь ткани; при больших $k_{\text{тп}}$ тепло, обусловленное лазерным излучением, будет быстрее уходить из зоны воздействия, чем при малых $k_{\text{тп}}$, и поэтому для достижения нужного нагрева требуется меньшая скважность и длительность импульсов. При большой теплоемкости c требуется соответственно больше плотности энергии E для выпаривания или дозированного прогрева заданного объема биоткани. Таким образом, оптимизируемые параметры технической системы (E , λ , τ , $k(r)$, r) задаются характеристиками зоны воздействия ($\Delta T(x)$, R , L) с учетом соответствующих свойств биологической системы (α , $k_{\text{тп}}$, c). Параметры зоны воздействия, как первичный результат взаимодействия технической и биологической систем, определяются таким образом, чтобы в соответствии с принципом адекватности в ближайших к зоне тканях повреждение было минимальным.

Для эффективного управления процессом необходимо его контролировать. В настоящее время контроль за лазерным воздействием, в основном, осуществляется либо визуально врачом по появляющимся изменениям в зоне воздействия, либо в результате априорной оценки воздействия по выходной мощности используемого лазера и предварительным средним оценкам оптических свойств биотканей (срезов), либо по показаниям пациента. Такой контроль ненадежен, субъективен, неоперативен и неавтоматизирован. По сути дела при конкретном лазерном воздействии могут проверяться только средние параметры технического средства и нет контроля за реакцией биологического объекта на оказываемое воздействие.

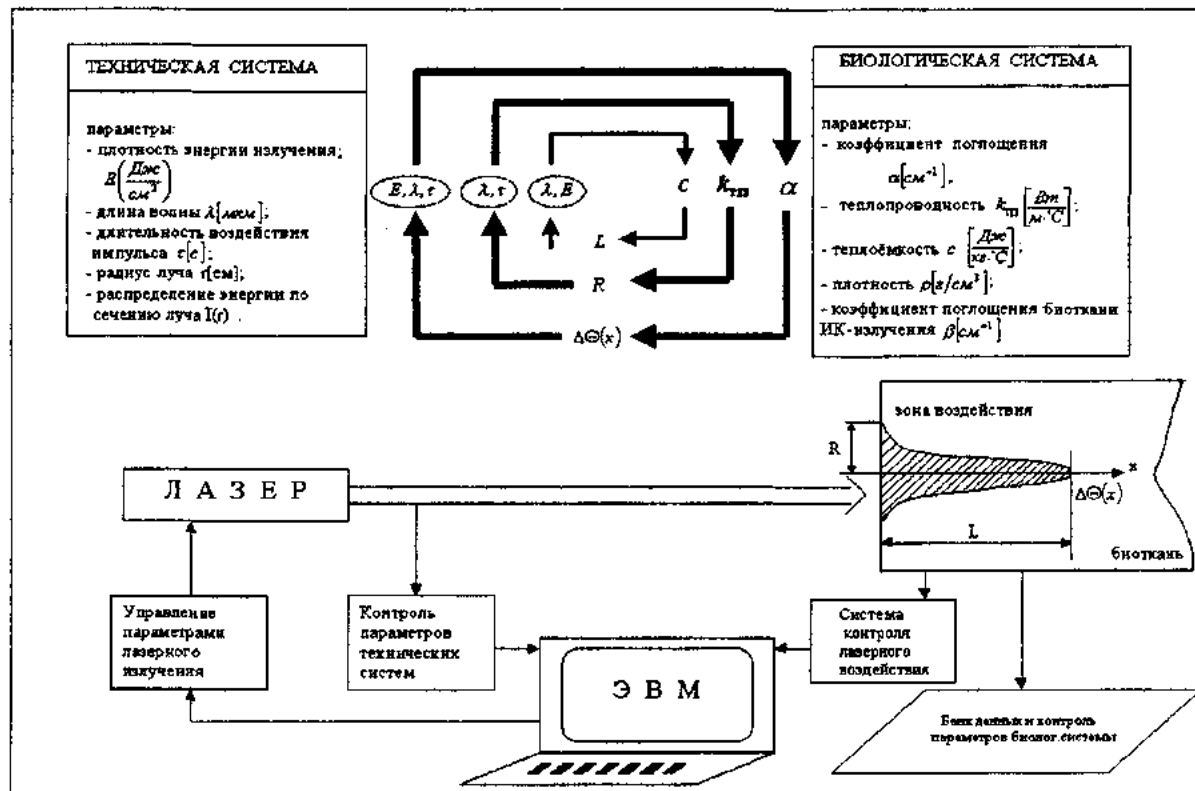


Рис. 2. Связь параметров БТС лазерного воздействия

Контроль воздействия может быть основан на явлении, происходящем в биоткани и сопровождающем это воздействие или являющимся непосредственным его результатом, чтобы по изменению параметров данного явления судить о ходе воздействия.

Процессы, происходящие в биообъекте при лазерном воздействии, непосредственно зависят от поглощаемой в единицу времени энергии излучения, поэтому целесообразно вести контроль за самим процессом поглощения, который сопровождается разными эффектами, проявление которых различно в зависимости от соответствия параметров лазерного излучения параметрам биоткани. Оценка изменения параметров явления от воздействующих факторов позволяет осуществить обратную связь в БТС, необходимую для оптимизации процесса воздействия.

Благодаря последним достижениям науки (прежде всего, российской) разработан *метод биологической обратной связи (БОС)*, который в широком смысле представляет собой передачу человеку дополнительной, не предусмотренной природой информации о состоянии его органов и систем в доступной и наглядной форме. На основе этой информации человек способен включать механизмы саморегуляции и целенаправленно использовать огромные функциональные возможности организма с целью совершенствования своих функций или поддержания их в норме и коррекции деятельности организма при патологических изменениях в нем. Причем абсолютных противопоказаний к применению метода БОС нет.

Применительно к БТС введение биологических обратных связей позволяет проводить коррекцию оказываемого на пациента воздействия с учетом его состояния до и во время процедуры, осуществляя тем самым *биологическое управление системой*. Особенностью биологического управления является то, что обеспечивается "идеальное" согласование воздействия с ритмом естественных жизненных процессов, поскольку управление совершается сигналами самого организма.

В качестве сигналов биоуправления используются четкие проявления активности управляющего органа или системы, а особенно удобно применение биоэлектрических потенциалов, которые после усиления и другой обработки могут непосредственно выполнять роль командных сигналов. Однако оправдано это только в тех случаях, когда достаточно изучено физиологическое значение конкретных биопотенциалов и удастся довольно четко расшифровать их смысл, а, кроме того, отведение потенциалов надежно, просто и нетравматично.

Учитывая, что при лазерном воздействии на все типы биотканей всегда присутствует больший или меньший нагрев, в качестве примера можно рассмотреть метод, реализующий биологическое управление и основанный на регистрации неравновесного инфракрасного излучения, вызываемого лазерным облучением биоткани. Этот процесс стабилен и обусловлен только параметрами биообъекта и лазерного излучения, то есть самим процессом поглощения, а также непосредственно связан с его кинетикой. Структурная схема БТС лазерного воздействия с контролем, использующим метод импульсной фототермической радиометрии (ИФТР), представлена на рисунке 3.

Функциями представленной БТС являются регистрация параметров процесса нагрева, лежащего в основе системы контроля, аналого-цифровое преобразование этой информации, ввод в ЭВМ, запоминание и обработка данных, а кроме этого в соответствии с полученными данными принятие решения об изменении режима работы лазера, выработка управляющего сигнала для блоков управления генерацией и информирование врача-оператора. Работа рассматриваемых БТС лазерного воздействия делится на три этапа:

- регистрация сигнала из биообъекта;
- обработка сигнала и принятие решения;
- управление лазером.

Лабораторный практикум предполагает ознакомление студентов с новыми методами контроля и биологического управления параметрами воздействия при низкоинтенсивной лазерной терапии (НИЛТ). Он построен таким образом, что, начиная знакомство со способами построения БТС с системы без обратной связи, на следующем этапе студент переходит к изучению полуавтоматической системы, а далее к системе, работающей в автоматическом режиме. Один из методов, реализованный в рассматриваемых БТС, основан на контроле поглощаемой в эпидермисе мощности излучения и регулировании скважности лазерных импульсов в зависимости от оптических и теплофизических свойств эпидермиса. Второй метод базируется на хронобиологическом подходе в физиотерапии, который основан на контроле воздействия по биоритмологическим показателям организма человека и воздействию в фазы энергообеспечения клеток.

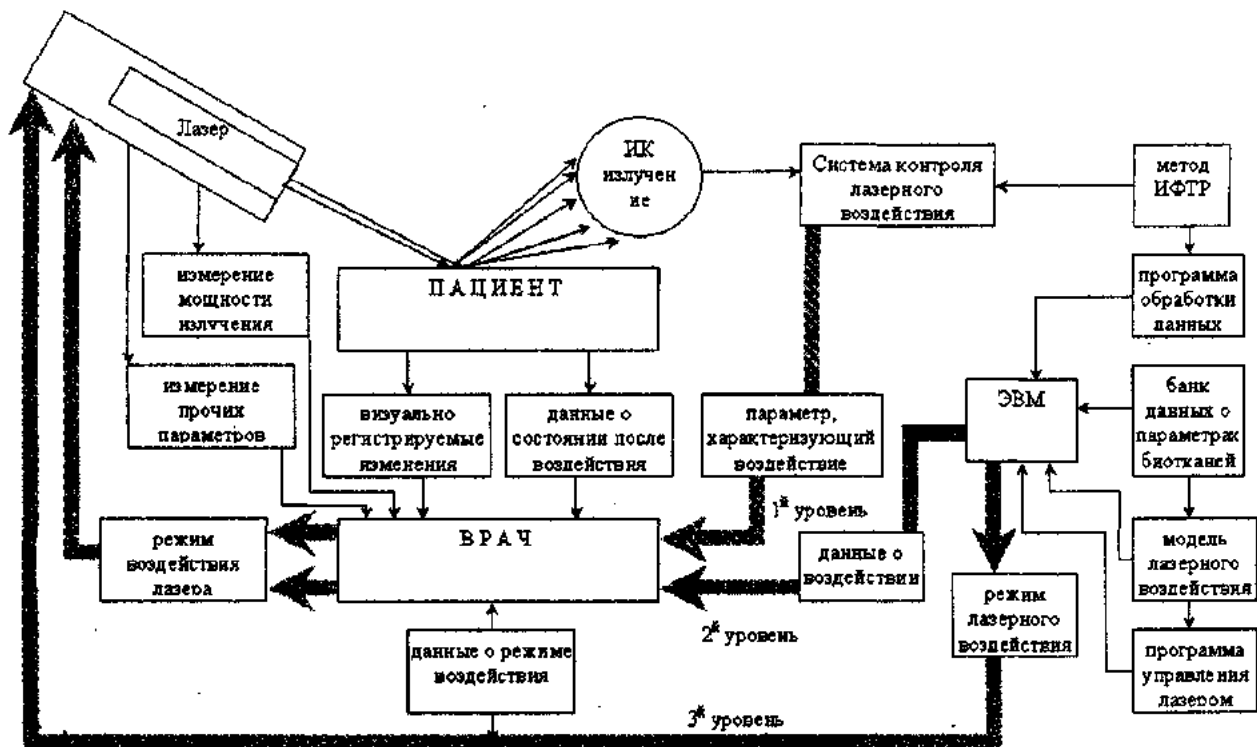


Рис. 3. БТС лазерного воздействия с контролем, использующим метод импульсной фототермической радиометрии (ИФТР)

4 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

4.1 Лабораторная работа №1

Терапевтическая биотехническая система нормализации состояния биологического объекта

4.1.1 Цель работы

Ознакомление студентов с биотехническими системами терапевтического типа, получение навыков коррекции оказываемого лазерного воздействия при проведении физиотерапевтических процедур и анализ влияния параметров настройки лазерного аппарата на дозу лазерного излучения, получаемую биообъектом.

4.1.2 Используемое оборудование

Аппарат лазерный терапевтический “Улан-БЛ-20”С, штангенциркуль.

4.1.3 Содержание работы

Практическое ознакомление с устройством и принципом действия аппарата “Улан-БЛ-20”С, экспериментальное исследование зависимостей мощности и дозы лазерного излучения от частоты повторения импульсов лазерного излучения и времени проведения процедуры, разработка структуры биотехнической системы терапевтического типа.

4.1.4 Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка студентов к лабораторной работе осуществляется в следующих направлениях:

- изучение теоретической части по теме работы по данному пособию и другим литературным источникам;
- проверка степени подготовленности к работе по контрольным вопросам;
- подготовка отчета по лабораторной работе.

Кроме этого внешняя среда, воздействующая на человека, нарушает биохимические и физиологические процессы, протекающие в его организме. Количественной оценке эти воздействия зачастую не поддаются из-за многонаправленности действий на объект управления и влияния не только первичного возмущения, но и совокупности изменений, происходящих затем во внутренней среде. Через внешнюю среду также возможно лечебное воздействие на пациента.

Основной задачей, ставящейся при управлении состоянием внутренней среды организма, является нормализация параметров этой среды, то есть лечение организма. Гомеостатическая норма является индивидуальной характеристикой отдельного организма, а управление им может осуществляться посредством вещества, энергии или информации. Управляющие БТС, восстанавливающие естественные функции органов и физиологических систем больного человека, поддерживающие их в пределах нормы, а также выполняющие роль замещения утраченных физиологических функций организма, называются биотехническими медицинскими системами терапевтического назначения (БТС-МТ).

Основной проблемой БТС данного типа является то, что точность лечебных воздействий значительно отстает от точности диагностики, не обеспечивая максимального эффекта и строгой индивидуализации терапии. Для решения этих проблем при создании БТС индивидуализированной фармакотерапии используют *теорию динамического программирования*.

Суть этой теории заключается в том, что параметры объекта управления определяют не путем пассивного наблюдения, а методом активного вмешательства. Первое дозированное лечебное воздействие проводится стандартным препаратом (функциональная проба), а спустя определенное время от организма получают ответную информацию, которую автоматически сопоставляют с исходной. В зависимости от "ответа" организма в него вводится соответствующая доза того же или другого препарата, и так далее до достижения положительного лечебного эффекта.

Таким образом, задача решается не сразу одним действием, а последовательно, на основе пошагового процесса лечения. Такая методика позволяет управлять состоянием организма даже при неполной информации. Однако применение ее осуществимо только в условиях замкнутости системы терапевтического процесса.

Различают три *способа построения терапевтических БТС*:

1) системы, полный цикл работы которых протекает при отсутствии обратной связи с выхода на вход системы;

2) полуавтоматические БТС, в которых в течение полного цикла работы происходят паузы в процессе управления, во время которых человек-оператор (техник, лаборант, врач) корректирует действия терапевтической системы, выполняя функции цепи обратной связи;

3) автоматические БТС, полный цикл управления которыми происходит без участия человека-оператора, за счет реализации обратной связи с выхода на вход системы.

Классификация БТС-МТ довольно обширна. Выделяют следующие классификационные признаки:

– по *функциональному показателю* классифицируют в зависимости от источника управляющих сигналов, способа их отведения, характера управления (произвольный – по воле человека, произвольный – с использованием биопотенциалов), способа обработки сигнала и назначения устройства;

– по *структурному показателю* различают:

а) разомкнутые и замкнутые;

б) непрерывного и дискретного управления;

в) имплантируемые и экстракорпоральные системы;

– по *назначению системы* классифицируют в зависимости от объекта управления;

– по *принципам управления* разделяют системы, исходя:

а) из природы сигналов, с помощью которых ведется управление (биоэлектрические, механические, химические, термоэлектрические и т.д.);

б) особенностей функционирования обратных связей (связи, реализующиеся в самих устройствах и реализуемые через изменения состояния физиологических систем организма);

в) иерархичности управляющих сигналов;

г) интегральных показателей функционирования системы;

– по *степени сложности структуры* выделяют простые детерминированные и сложные вероятностные системы.

Все БТС-МТ характеризуются наличием объекта управления *ОУ* и управляющего устройства-регулятора *Р*, присоединенного к нему (рис. 5). Регулятор управляется сигналами от предыдущего устройства естественной или искусственной природы (вход *А*), а *ОУ* сам воз-

действует на другой объект в этом же организме либо взаимодействует с внешними предметами или организмами (выход B). В первом случае система является закрытой, во втором – открытой. В структурных схемах используются как биологические регуляторы $P_{жс}$, т.е. естественного происхождения (рис. 5, $a - в$), так и регуляторы в виде технических устройств P_m (рис. 5, $г - е$).

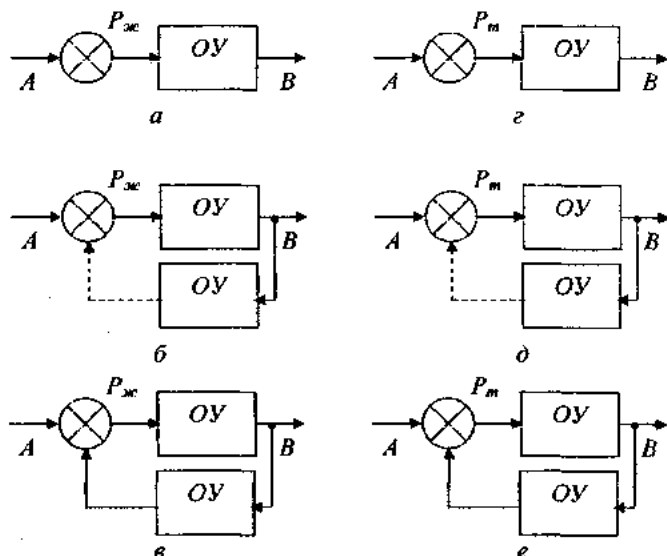


Рис. 5. Структурные схемы БТС-МТ

Примером системы управления без биологической обратной связи (разомкнутая система) (рис. 5, a) может служить функциональный протез. Полуавтоматический режим работы системы (рис. 5, $б$) предполагает непостоянное действие обратной связи, когда врач корректирует работу системы в зависимости от получаемой информации (например, система поддержания гомеостаза с участием врача). Автоматический режим, т.е. с постоянно действующей обратной связью (рис. 5, $в$) представлен в той же системе поддержания гомеостаза, но уже без включения в контур управления врача, или электромеханическим протезом конечности.

Использование технических устройств в качестве регуляторов также может вестись в нескольких режимах. Например, система без

обратной связи (рис. 5, з) действует в дефибрилляторе в несинхронизированном режиме, полуавтоматический режим реализуется в имплантируемом или экстракорпоральном кардиостимуляторе, переходящем из режима биологической синхронизации в автоколебательный режим (рис. 5, д), а примером автоматической системы может служить имплантируемый электрокардиостимулятор, управляющий работой сердца и синхронизируемый сердцем же по цепи обратной связи (рис. 5, е).

Выделяют основные особенности реализации БТС-МТ:

1. Регулирующее воздействие должно быть синхронизировано с естественными процессами и ритмами.

2. Необходимо обеспечить быстрый анализ поступающей на вход БТС информации и незамедлительную выработку требуемого терапевтического воздействия.

Среди терапевтических систем особое место занимает широкий спектр физиотерапевтических систем, использующих низкоинтенсивное лазерное излучение. Технические преимущества лазерного излучения общеизвестны – это возможность локального равномерного облучения в широком диапазоне интенсивности светового потока, довольно высокая точность дозирования, использование волоконной оптики и специализированного световодного инструмента для подведения энергии лазерного излучения к патологическим очагам при их внутрисполостной локализации.

4.1.5.2 Физические основы лазерной терапии

Плотность потока полезной мощности (ППМ) P на определенной глубине проникновения лазерного излучения зависит от расстояния, пройденного излучением от излучателя до поверхности биоткани и от глубины расположения этого слоя биоткани:

$$P = \frac{P_{\text{имп}} \cdot \tau \cdot f}{S_{\text{кв. см}}},$$

где P – облученность или плотность потока мощности (ППМ), Вт/см²;

$P_{\text{имп}}$ – паспортная мощность импульсного лазерного ИК-излучения; Вт;

τ – паспортное время одного импульса, с;

f – частота импульсов, Гц;

$S_{\text{кв. см}}$ – площадь облучения (при контактной методике равна площади выходного отверстия излучателя).

Величина P определяет воздействие за одну секунду, а воздействие – это отношение мощности излучения к площади поверхности, освещаемой лучом и перпендикулярной к направлению излучения.

Наиболее часто применяется другой параметр, который называют *плотностью потока энергии (ППЭ)*, Дж/см² или энергетической экспозицией E , которая равна произведению облученности на длительность сеанса терапии:

$$E = P \cdot t,$$

где t – время отпускаемой процедуры на данной частоте, с.

Значения P и E прямо пропорциональны частоте повторения импульсов f , устанавливаемой на аппарате.

Еще одним параметром, часто применяемым в лазерной терапии, является доза Q , Дж. Доза Q – это полная энергия лазерного излучения, полученная за сеанс и равная произведению средней мощности на длительность сеанса:

$$Q = P_{\text{ср}} \cdot t \cdot f \cdot t.$$

Для биофизической оценки реакций, происходящих в биоткани и во всем организме в целом, а также для качественной оценки влияния силы стимулирования (дозировки) лазерного излучения на вид биоэффектов используется закон Арндта – Шульца.

Он гласит, что в биологических системах слабые стимулы дают сильные реакции, средние – умеренные реакции, умеренно сильные слегка тормозят систему, а очень сильные полностью блокируют ее. На графическом изображении закона Арндта – Шульца (рис. 6) условно представлено состояние малого объема клеток биоткани (1), части органа или целого органа (2) и всего организма в целом (3). Состояние, отмечающееся при воздействии на биообъекты лазерного излучения, проходит несколько последовательных стадий. Слева идет зона нечувствительности (уровни излучения много меньше уровня внешнего фона), когда ни субъективными, ни объективными методами не удается уловить первичную реакцию биообъекта.

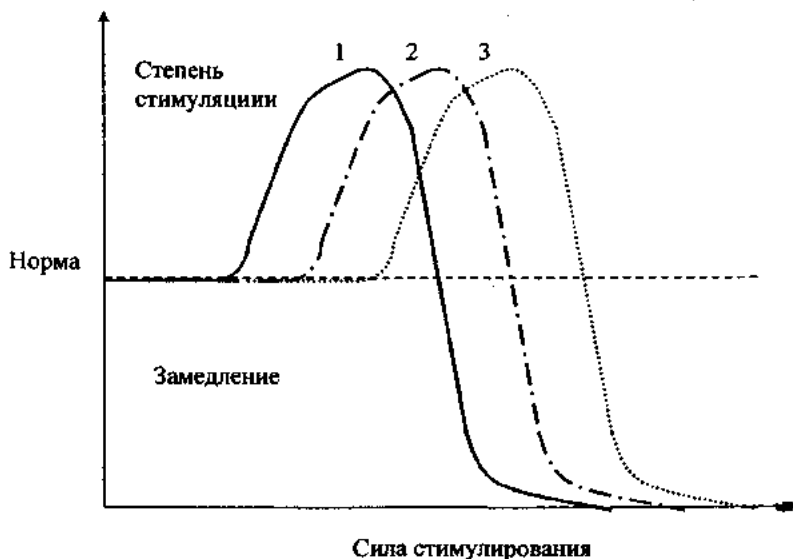


Рис. 6. Схематическая интерпретация закона Арндта – Шульца, взаимодействие лазерного луча и биоткани

В дальнейшем при увеличении дозы (Q) отмечается повышение температуры тканей, что до уровня в 40°C рассматривается как зона биостимуляции. Если допустить нагрев ткани более 40°C , начинается денатурация белка и изменение липидов, которые на первых порах могут быть обратимыми и играть положительную роль в развитии конечных адаптационных процессов. При температуре свыше 55°C наблюдается необратимая дегенерация, а свыше 63°C – коагуляция белка.

Эти явления могут наблюдаться при высокоэнергетическом воздействии, применяемом в отдельных видах медицинской практики (онкология и другие), и не имеют никакого отношения к низкоинтенсивным лазерным аппаратам. В физиотерапевтической практике лазерной терапии используется только тот участок кривой от конца зоны нечувствительности Арндта – Шульца, который соответствует состоянию биостимуляции, а также самый начальный участок зоны обратимой стимулирующей биодепрессии, на котором не может быть

необратимых изменений. Реакцию системы “лазер - биоткань” определяют именно технические параметры. Для каждого вида лазеров кривые Арндта – Шульца будут отличаться от других. Однако не представляется возможным определить конкретные кривые для каждого типа лазера, поэтому рассматриваемые графики носят качественный, но не количественный характер.

Длительность проведения процедуры квантовой терапии может быть определена с учетом “терапевтического коридора”. Это тот диапазон значений, в котором меньший уровень воздействия может дать слабо выраженный эффект биостимуляции или слишком медленный рост эффекта. В то же время больший уровень нежелателен, поскольку приводит к необратимой биодепрессии.

4.1.6 Контрольные вопросы

1. Дайте определение биотехнической системы, изобразите ее структурную схему. Приведите примеры БТС различного типа.

2. Укажите особенности биологической и технической подсистем.

3. Укажите основные задачи синтеза биотехнических систем.

4. Изобразите модель процесса исследования состояния биологического объекта и проанализируйте факторы, влияющие на него.

5. Дайте определение терапевтических биотехнических систем (БТС-МТ), приведите примеры.

6. В чем заключается сущность теории динамического программирования? Приведите примеры ее применения к различным лечебным воздействиям.

7. Объясните суть основной проблемы БТС-МТ. Почему точность лечебных воздействий отстает от точности диагностирования?

8. Укажите способы построения БТС-МТ. Проанализируйте особенности их реализации.

9. Изобразите основные структурные схемы БТС-МТ.

10. Запишите зависимости, характеризующие воздействие лазерного излучения.

11. Сформулируйте закон Арндта – Шульца и приведите его графическое изображение.

4.1.7 Порядок выполнения работы

4.1.7.1 После собеседования с преподавателем по теоретической части по теме работы получите у него необходимое оборудование и приборы.

4.1.7.2 Ознакомьтесь с инструкциями и правилами работы с оборудованием и приборами, запишите их основные параметры.

4.1.7.3 После ознакомления с паспортом аппарата "УЛАН-БЛ-20"С подключите блок излучения к аппарату через соединительный шнур с помощью разъема ОНЦ. На блоке излучения имеется переключатель ON (ВКЛ). Работа на аппарате "УЛАН-БЛ-20"С осуществляется при положении переключателя, расположенного на задней стенке аппарата, в положении ON.

4.1.7.4 Вставьте ключ (MAIN) в замок и поверните его вправо до упора. При этом загорается световое табло с числовым значением времени 5 мин, появляется световая индикация по одной из частот – 600 Гц.

4.1.7.5 С помощью пленочных псевдосенсорных переключателей частоты FREQUENCY (Hz) или FREQUENCY (kHz) и переключателей времени TIME "+" и "-" установите частоту и время в соответствии с вариантом, заданным преподавателем (табл. 1).

Увеличение времени измерения до 99 мин производится с помощью пленочного псевдосенсорного переключателя "+". Уменьшение до 1 мин – с помощью пленочного псевдосенсорного переключателя "-".

4.1.7.6 Произведите измерение мощности излучения. Для этого вставьте излучатель в гнездо POWER MEASUREMENT SOCKET замера мощности, расположенное справа на панели прибора. Нажать на кнопочные переключатели POWER MEASUREMENT (МОЩНОСТЬ) и START (СТАРТ). Величина средней мощности высвечивается на табло.

По истечении установленного времени происходит автоматическое отключение излучателя, и включается продолжительный звуковой сигнал.

Для ручного отклонения можно нажать кнопку STOP (СТОП).

Таблица 1 – Варианты задания параметров лазерного излучения

Номер варианта	Частота f , Гц	Время измерения t , мин
1	1-й диапазон: 2, 4, 80, 150, 300, 600, 1500, 3000	1
2	2-й диапазон: 8000, 12000, 18000, 21000, 24000, 26000, 28000, 30000	1
3	1-й диапазон: 2, 4, 80, 150, 300, 600, 1500, 3000	2
4	2-й диапазон: 8000, 12000, 18000, 21000, 24000, 26000, 28000, 30000	2
5	1-й диапазон: 2, 4, 80, 150, 300, 600, 1500, 3000	3
6	2-й диапазон: 8000, 12000, 18000, 21000, 24000, 26000, 28000, 30000	3

4.1.7.7 При эксплуатации аппарата происходит нагрев блока излучения, что обусловлено схематическим исполнением. Но это не влияет на работу излучателя и не является техническим дефектом. При работе аппарата во 2-м диапазоне после 15 мин работы сделайте 10-минутный перерыв.

4.1.7.8 Измерьте мощность излучения для всех частот заданного вариантом диапазона. Результаты экспериментального измерения сведите в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты экспериментального исследования

№ п/п	Частота, Гц	Мощность импульсного излучения $P_{имп}$, Вт	Плотность потока мощности (ППМ) E , Вт/см ²

Постройте график зависимости изменения средней мощности излучения $P_{имп}$ от частоты повторения импульсов f .

4.1.7.9 Выключите аппарат, повернув ключ влево, выньте его из замка, снимите насадки, отключите от сети.

4.1.7.10 Используя штангенциркуль, измерьте диаметр выходного отверстия излучателя и определите площадь выходного отверстия $S_{кв. см}$.

4.7.1.11 Рассчитайте значения плотности потока полезной мощности (ППМ) E для всех заданных частот. Результаты расчетов занесите в табл. 2.

4.7.1.12 Используя максимальное значение полученной плотности потока полезной мощности, исследуйте влияние времени отпускаемой процедуры на данной частоте на плотность потока энергии (ППЭ) E . Результаты расчетов сведите в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов

t , мин	1	2	3	4	5	10	20	30
E , Дж/см ²								
Q_{\min} , Вт·с								
Q_{\max} , Вт·с								

Постройте график зависимости плотности потока энергии E от времени t .

4.1.7.13 Рассчитайте дозу Q на минимальной и максимальной частоте заданного в варианте диапазона для времени воздействия, указанного в табл. 3. Результаты сведите в эту же таблицу.

Постройте график зависимости полной энергии за сеанс от времени измерения для двух фиксированных частот.

4.1.7.14 Разработайте блок-схему терапевтической биотехнической системы. Проанализируйте возможность использования подобных систем в полуавтоматическом и автоматическом режимах работы.

4.1.7.15 Сделайте выводы по результатам работы.

4.2.8 Содержание отчета

Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы; технические характеристики используемого оборудования; результаты расчетов, сведенные в табл. 2 и 3; графики исследованных зависимостей; структурную схему терапевтической БТС; результаты проведенного анализа возможностей построения подобных систем, работающих в полуавтоматическом и автоматическом режимах; выводы по работе.

4.2 Лабораторная работа № 2

Биотехническая система контроля отражения излучения от биоткани и поглощения мощности излучения в эпидермисе при низкоинтенсивной лазерной терапии

4.2.1 Цель работы

Ознакомление студентов с основами биологического управления, с БТС, позволяющей контролировать поглощаемую в эпидермисе мощность излучения при низкоинтенсивной лазерной терапии внутренних органов и корректировать дозу, поглощаемую биологическими тканями.

4.2.2 Используемое оборудование

Аппарат магнито-инфракрасно-лазерный терапевтический "МИЛГА-Ф" с биофотометром; автоматизированная система сбора и анализа данных, включающая канал измерения температуры с преобразователем температуры DS1820 и ПЭВМ с программным обеспечением MathCAD 2000 Professional.

4.2.3 Содержание работы

Практическое ознакомление с устройством и принципом действия аппарата "МИЛГА-Ф", экспериментальное исследование потерь мощности лазерного излучения в эпидермисе и разработка структуры биотехнической системы, осуществляющей коррекцию низкоинтенсивного лазерного воздействия.

4.2.4 Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка студентов к лабораторной работе осуществляется в следующих направлениях:

- изучение теоретической части по теме работы по данному пособию и другим литературным источникам;
- проверка степени подготовленности к работе по контрольным вопросам;
- подготовка отчета по лабораторной работе.

4.2.5 Теоретическая часть работы

4.2.5.1 Взаимодействие лазерного излучения с биологическими тканями

Для точного моделирования процесса воздействия лазерного излучения необходимо учитывать различные особенности биологического объекта и свойства облучаемых биотканей (рис. 7).

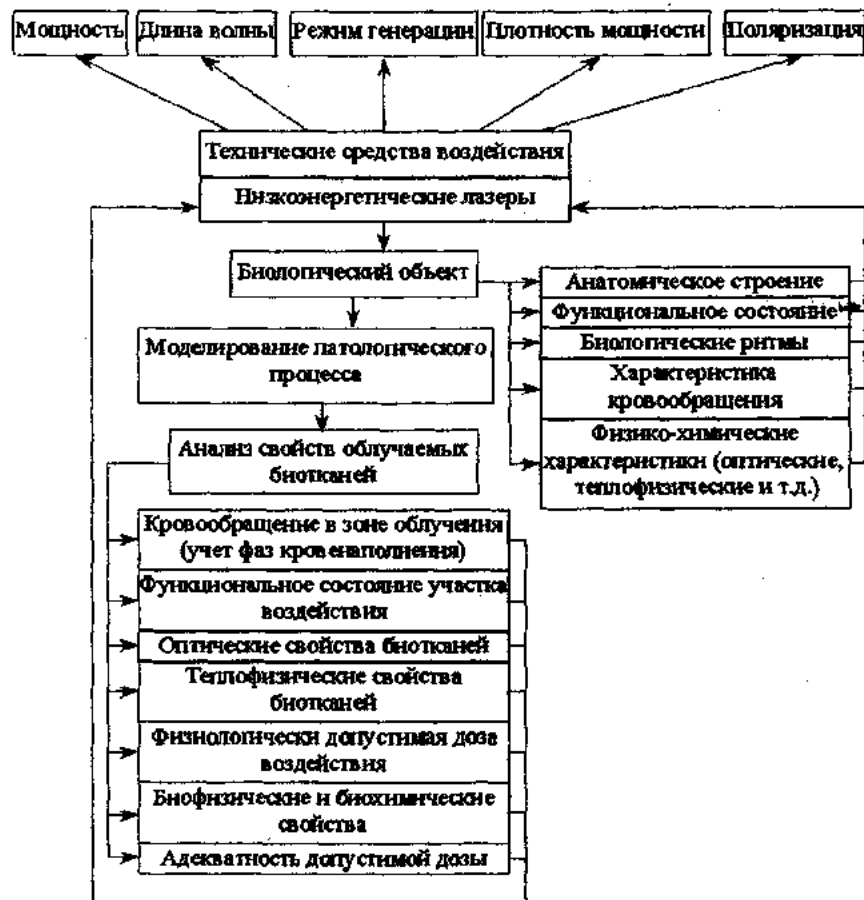


Рис. 7. Модель взаимодействия лазерного излучения с биологическими тканями человека

Проникающее в ткань лазерное излучение подвергается многократному рассеиванию, поглощению различными биологическими структурами и частичному преобразованию во вторичное излучение. При воздействии лазерного монохроматического потока с длиной волны λ определяются спектральные коэффициенты отражения $\rho(\lambda)$, пропускания $\tau(\lambda)$ и поглощения $\alpha(\lambda)$. Данные коэффициенты качественно и количественно характеризуют в целом оптические свойства биоткани при ее конечной толщине и других характеризующих ее параметрах на момент времени измерения (степень пигментации, характеристика кровоснабжения и т.д.). Аппараты низкоинтенсивной лазерной терапии отличаются низким уровнем интенсивности лазерного воздействия (от 0,01 до 1 Дж/см²), которое не влияет на оптические свойства биотканей.

Прохождение низкоинтенсивного лазерного излучения сквозь различные слои биоткани человека неодинаково. Глубина проникновения оптического излучения различных длин волн через слои кожи человека представлена на рис. 8. При лазеротерапии внутренних органов используется ближнее инфракрасное излучение порядка 0,74 – 3,0 мкм, так как оно обладает большим коэффициентом пропускания в биотканях.

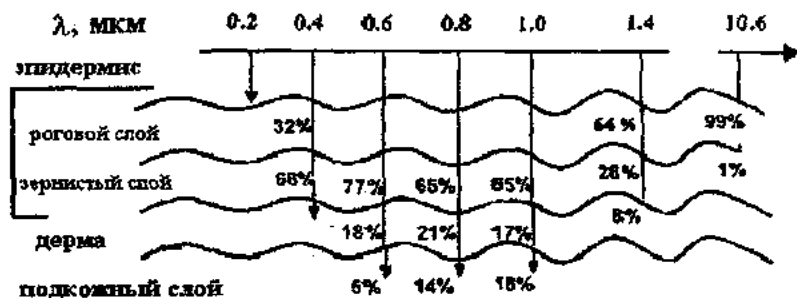


Рис. 8. Глубина проникновения лазерного излучения через слои кожи

Одним из методов контроля поглощаемой дозы является учет коэффициента отражения от биоткани, т.е. биофотометрический метод контроля, который базируется на совокупности двух признаков: пер-

вый – дозовое лазерное воздействие и одномоментная оценка; и второй – коррекция его эффективности по оптическим параметрам биообъекта (коэффициент отражения, поглощения, пропускания) в реальном масштабе времени на принципах обратной связи. Для этого используется варьирование параметров настройки технических средств воздействия (см. рис. 7), что обеспечивает точность, воспроизводимость и высокую адекватность диагностических и лечебных методов.

Отраженный поток лазерного излучения отличается от падающего величиной и направлением, в ряде случаев изменением состояния и степени поляризации, а иногда и спектрального состава. Спектральный коэффициент отражения меняется с изменением длины волны падающего излучения, а все биологические ткани отражают в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра селективно, т.е. в определенном диапазоне длин волн.

Встроенный фторорегилятор аппарата магнито-лазерной терапии “МИЛГА-Ф” используется для определения индивидуальной дозы облучения пациента за счет учета изменений соотношения поглощения и отражения у разных пациентов или у одного и того же больного в ходе лазерной терапии. Динамика изменения оптических параметров кожного покрова у одного и того же человека в различных точках имеет индивидуальный характер в зависимости от падающего излучения, топографо-анатомического участка, пола, возраста и цвета кожи.

Ближнее ИК-излучение поглощается в основном в дерме, но некоторая часть (почти 30 %), как уже отмечалось, проникает на глубину до 40 мм, достигая подкожного жирового слоя и даже расположенных под ним органов. Поэтому, используя ИК-излучение различного диапазона, можно регулировать глубину проникновения и достигать нужного лечебного результата.

Однако инфракрасное излучение, оказывая определенное стимулирующее действие на организм, повышает температуру тех слоев кожи, в которые оно проникает. Поглощенная энергия света превращается в тепло, вызывая в облученном объеме локальное повышение температуры. Так как при НИЛИ не происходит фазовых переходов, то температура повышается пропорционально плотности энергии. Часть тепла отводится в зависимости от температурного градиента путем теплопередачи в более холодный окружающий участок. Из-за этого ограничивается максимально достижимая температура облучаемого участка при данной интенсивности излучения, то есть с определенной интенсивностью облучения связана определенная максимальная температура.

Так как часть энергии транспортируется в соседние области, то нагревается не только облученный объем, но и окружающие его участки. Тепло отводится от облученной ткани также и локальным кровотоком *in vivo*. Термические свойства живой ткани определяются тремя явлениями:

- теплопроводность;
- накопление тепла;
- отвод тепла сосудистой системой.

Поэтому для контроля поглощаемой мощности необходимо учитывать не только оптические, но и теплофизические свойства биотканей с целью поддержания заданной интенсивности воздействия на подвергаемые лазеротерапии ткани путем дополнительной регистрации затраченной энергии на локальный нагрев эпидермиса (рис. 9). Эпидермис покрывает поверхность кожи и является пограничной тканью с выраженными барьерными функциями, причем рельеф и толщина эпидермиса различны у разных людей и на разных участках тела. В эпидермисе сплетения кровеносных сосудов отсутствуют, поэтому при исследовании тепловых процессов в этом слое отводом тепла, осуществляемым сосудистой системой, можно пренебречь.

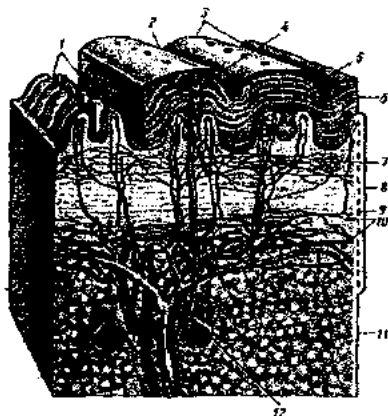


Рис. 9. Структурное строение кожи:

- 1 – сосочки дермы кожи; 2 – бороздка кожи; 3 – тактильные валлики;
- 4 – выводной проток потовой железы; 5 – чувствительное (тактильное) тельце;
- 6 – эпидермис; 7 – сосудистые и нервные подсосочковые сети;
- 8 – соединительнотканная основа кожи; 9 – *tunica propria corii*;
- 10 – сосудистая сеть; 11 – подкожная клетчатка; 12 – потовая железа

Для биоткани значения коэффициента теплопроводности составляют 0,3–0,5 Вт/(м·°С) в зависимости от содержания воды, а способность ткани принимать и накапливать тепло описывается через удельную теплоемкость. Например, удельная теплоемкость жира составляет 1930 Дж/(кг·°С). Таким образом, при дозиметрии НИЛИ внутренних органов необходимо учитывать количество введенной энергии (поглощенной дозы) не только по коэффициенту отражения, а также по количеству энергии, расходуемой на нагрев верхнего слоя кожи – эпидермиса. Локальный нагрев всегда присутствует в большей или меньшей степени в зависимости от теплофизических свойств биоткани и, в первую очередь, от ее теплопроводности.

Интересными представляются исследования воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения на растения. На схематичном изображении листа в поперечном разрезе (рис. 10) хорошо видно, что с обеих сторон он также покрыт эпидермисом. Поэтому, как и в случае с биологическим объектом, здесь возможна коррекция эффективности лазерной терапии по оптическим параметрам биообъекта и его теплофизическим свойствам.

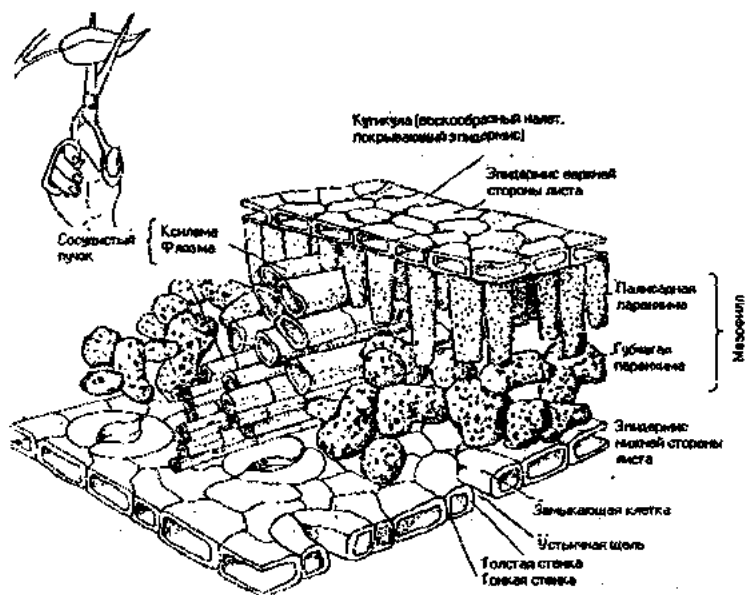


Рис. 10. Схематическое изображение листа в поперечном разрезе

4.2.5.2 Алгоритм получения и обработки информации при низкоинтенсивной лазерной терапии внутренних органов

Алгоритм получения и обработки информации при реализации метода контроля поглощаемой в эпидермисе мощности излучения при НИЛТ внутренних органов заключается в следующем:

- регистрируется отраженная часть лазерного излучения от биоткани (определяется коэффициент отражения кожного покрова $\rho(\lambda)$);
- рассчитывается отраженная средняя мощность, определяемая из выражения

$$P_{отр} = \rho(\lambda) \cdot P_{пад},$$

где $P_{пад}$ – падающая средняя мощность лазерного излучения, задаваемая при воздействии;

– во время процедуры низкоинтенсивной лазерной терапии внутренних органов после завершения переходных процессов производится измерение значений температур (Θ_1 и Θ_2) локального нагрева эпидермиса в двух точках вне светового пятна, лежащих на одном радиус-векторе и определенном расстоянии друг от друга, причем Θ_1 – температура места с большим нагревом, расположенного ближе к излучателю, а Θ_2 – температура места с меньшим нагревом, т.е. расположенного дальше от излучателя;

– методом численного интегрирования вычисляется градиент температуры на границе светового пятна $\left(\frac{\partial \Theta}{\partial r}\right)_R$ из уравнения теплового баланса эпидермиса в установившемся режиме:

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial \Theta}{\partial r} + \frac{k_a + k_m}{k_{mn} \cdot h} \cdot \Theta - \frac{k_a \cdot \Theta_a + k_m \cdot \Theta_m}{k_{mn} \cdot h} = 0,$$

где Θ – температура эпидермиса на расстоянии r от центра светового пятна;

k_a – коэффициент теплоотдачи “эпидермис–воздух”;

k_m – коэффициент теплоотдачи “эпидермис–внутренние слои биоткани”;

k_{mn} – коэффициент теплопроводности эпидермиса вглубь биоткани;

h – толщина эпидермиса;

Θ_a и Θ_t – температура окружающего воздуха и внутренних слоев биоткани соответственно;

– находится поглощаемая в эпидермисе мощность $P_{\text{наг}}$, расходуемая на локальный нагрев эпидермиса, по следующему выражению:

$$P_{\text{наг}} = k_{\text{мл}} \cdot h \cdot 2\pi \cdot R \cdot \left(\frac{\partial \Theta}{\partial r} \right)_R,$$

где R – радиус светового пятна.

Таким образом, для определения потерь мощности лазерного излучения на локальный нагрев в эпидермисе достаточно измерить значения температуры эпидермиса в двух точках вне светового пятна (вне облучающего терминала), лежащих на одном радиус-векторе;

– рассчитывается коэффициент теплового поглощения эпидермиса ξ :

$$\xi = \frac{P_{\text{наг}}}{P_{\text{пад}} - P_{\text{отр}}};$$

– вычисляется коэффициент поглощения лазерного излучения внутренними тканями κ :

$$\kappa = 1 - [\rho(\lambda) + \xi];$$

– согласно выбранным параметрам воздействия определяется падающая доза лазерной энергии $D_{\text{пад}}$ из следующего выражения:

$$D_{\text{пад}} = \frac{P_{\text{пад}}}{S_{\text{обл. см}}} \cdot t,$$

где $S_{\text{обл. см}}$ – площадь облучаемого участка биоткани;

t – экспозиция (время воздействия);

– рассчитывается поглощенная внутренними тканями доза при их лазерной терапии:

$$D_{\text{погл}} = D_{\text{пад}} \cdot \kappa = D_{\text{пад}} \cdot [1 - (\rho(\lambda) + \xi)].$$

Итак, с помощью измерения коэффициента отражения лазерного излучения от биоткани и выделения части мощности, потраченной на локальный нагрев эпидермиса, учитываются не только оптические, но и теплофизические свойства эпидермиса, а значит, повышается точность контроля поглощенной дозы внутренними тканями при низкоинтенсивной лазерной терапии внутренних органов.

4.2.5.3 Особенности реализации контроля мощности излучения, потраченной на нагрев эпидермиса

Для измерения температуры эпидермиса используется автоматизированная система сбора и анализа данных САДГ-1. Данная система включает несколько преобразователей и блоков, подключенных к персональному компьютеру, которые формируют пять измерительных каналов:

- канал измерения и регистрации сопротивления;
- канал измерения и регистрации ЭДС;
- канал измерения и регистрации параметров микроконтактирования;
- канал измерения, регистрации и контроля частоты вращения;
- канал измерения, регистрации и контроля температуры.

Блок предварительной обработки измерительной информации (рис. 11) включает в себя блоки преобразователей сопротивления, ЭДС, микроконтактирования, частоты, блоки АЦП, адаптера MicroLAN-COM, цифровой обработки, памяти, а также блок питания. Отдельные блоки реализованы в виде оригинальных плат печатного монтажа и размещены в едином приборном корпусе.

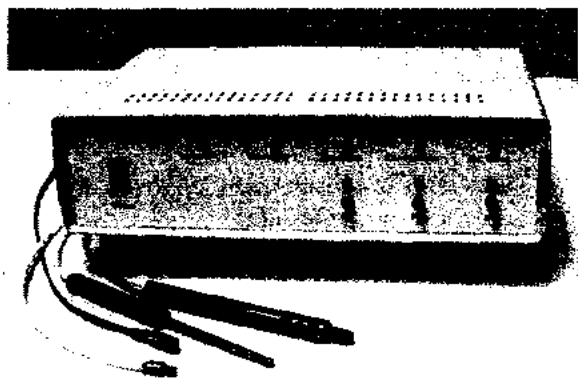


Рис. 11. Внешний вид блока предварительной обработки информации

На переднюю панель корпуса блока предварительной обработки измерительной информации вынесены элементы индикации, управления и включения системы (рис. 11):

– тумблер «Сеть» служит для включения блока предварительной обработки информации (свечение кнопки соответствует включенному состоянию);

– кнопки «Rx», «Rt», и «Ex» служат для подключения соответствующего измерительного канала к АЦП и блоку цифровой обработки;

– индикаторы над кнопками «Rx», «Rt», и «Ex» сигнализируют о работе соответствующего канала;

– индикаторы «Частота 1» и «Частота 2» сигнализируют о виде сигнала на соответствующих выходах преобразователя частоты (при вращении детали трибосопряжения и подключении соответствующего преобразователя положения к исследуемому объекту светодиоды мигают);

– индикатор «Диапазон» сигнализирует о диапазоне канала измерения и регистрации ЭДС (свечение светодиода свидетельствует о работе системы на диапазоне от $5 \cdot 10^{-4}$ до 10^{-1} В, отсутствие свечения – от $5 \cdot 10^{-5}$ до 10^{-2} В);

– индикатор «Калибровка» сигнализирует о работе системы в режиме калибровки при работе канала измерения и регистрации сопротивления;

– индикатор «Вх. комп.» сигнализирует о виде сигнала на выходе преобразователя микроконтактирования (при работе трибосопряжения в режиме полужидкостной смазки светодиод мигает).

На заднюю панель корпуса блока предварительной обработки информации вынесены элементы коммутации. Через разъем X1 подключается сетевой разветвитель на 10 датчиков DS1820.

Для измерения температуры локального нагрева эпидермиса используется только канал измерения, регистрации и контроля температуры, имеющий следующие характеристики:

– подключение к персональному компьютеру через адаптер COM-MicroLAN, который служит для подключения 10 преобразователей температуры к COM порту персонального компьютера с уровнями сигнала ± 12 В. Он выполнен на базе микросхемы MAX232ACPE и через разъем XS1 подключается к COM порту ПК;

– время цикла преобразования – менее 1 с;

– диапазон измерения температуры – $0 \dots 125$ °С;

– погрешность измерения температуры – не более 0,05 °С;

– число подключаемых преобразователей температуры – не более 10.

4 – кнопка РАУ (ПУСК); 5 – индикаторный диод включения лазера; 6 – корпус терминала; 7 – электрический шнур; 8 – биоткань. Диаметр камеры облучающего терминала аппарата составляет 24 мм, поэтому измерение температуры производится на расстояниях $r_1 = 15$ мм и $r_2 = 17$ мм.

Воздействие НИЛИ осуществляется контактным способом (облучающий терминал (рис. 13) устанавливается на биоткань).

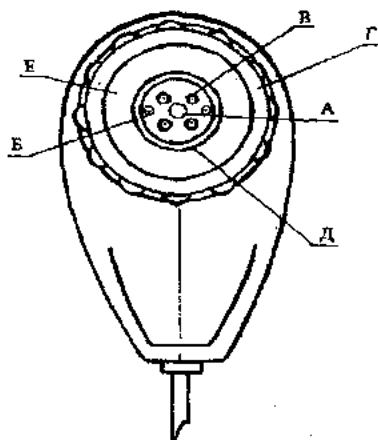


Рис. 13. Вид облучающего терминала аппарата “МИЛТА-Ф” со стороны апертуры:

А – лазер; Б – фотодиоды для измерения коэффициента отражения;
В – светодиоды; Г – гайка терминала; Д – камера; Е – магнит

4.2.6 Контрольные вопросы

1. Раскройте смысл системного подхода при проектировании биотехнических систем.
2. Объясните суть понятия суперадаптивности БТС.
3. Дайте определение понятия “обратная связь”. Какие преимущества дает введение в систему обратных связей? В чем особенность биологической обратной связи?
4. Приведите основные принципы сопряжения элементов биотехнической системы.

5. Укажите особенности биообъекта и свойства биотканей, влияющие на дозиметрию и контроль поглощаемой дозы лазерного излучения.

6. Укажите параметры технического средства воздействия, влияющие на мощность излучения, падающего на биологический объект.

7. Каким образом оптические и теплофизические свойства биологического объекта влияют на поглощенную мощность лазерного излучения?

8. Запишите зависимости, по которым определяется поглощенная и отраженная мощность лазерного излучения.

9. Запишите зависимости, по которым находится падающая и поглощенная внутренними тканями доза лазерного излучения. В чем причина отличия этих параметров друг от друга?

10. Какие термопреобразователи применяются для измерения температуры биологической ткани?

4.2.7 Порядок выполнения работы

4.2.7.1 После собеседования с преподавателем по теоретической части по теме работы получите у него необходимые оборудование и приборы.

4.2.7.2 Ознакомьтесь с инструкциями и правилами работы с оборудованием и приборами, запишите их основные параметры.

4.2.7.3 После ознакомления с руководством по эксплуатации (паспортом) аппарата «МИЛТА-Ф», открутив гайку облучающего терминала, извлеките кольцевой магнит и затем включите аппарат в сеть.

4.2.7.4 Кнопкой «сеть» включите аппарат, при этом кратковременно должны засветиться все индикаторные светодиоды прибора, кроме диода включения лазера на терминале.

4.2.7.5 В режиме «УРОВЕНЬ МОЩНОСТИ» при размещении терминала в ложе аппарата установите с помощью клавиши регулирования и индикатора мощность, излучаемую ИК-светодиодами, 100 мВт.

4.2.7.6 С помощью ИК-светодиодов произведите измерение отраженной мощности излучения по показаниям индикатора. Зная падающую среднюю мощность лазерного излучения, рассчитайте коэффициент отражения $\rho(\lambda)$ исследуемого участка биообъекта.

4.2.7.7 Произведите разметку на исследуемом участке объекта для установки облучающего терминала и преобразователя температуры DS1820, расположенного вне светового пятна (на границе), согласно рисунку 10, при условии, что $r_1 = 15$ мм и $r_2 = 17$ мм.

4.2.7.8 На блоке управления аппарата установите параметры воздействия НИЛИ (частоту импульсов и время экспозиции) согласно таблице 4.

Таблица 4 – Параметры воздействия НИЛИ

Наименование параметров воздействия НИЛИ	Значение параметров
Длина волны λ , мкм	0,89
Мощность в импульсе $P_{имп}$, Вт	6,2
Частота импульсов f , Гц	5000
Длительность импульса τ , нс	260
Средняя падающая мощность $P_{пад}$, мВт	8,1
Площадь облучения $S_{об}$, см ²	4,5 ^{кв}
Время воздействия (экспозиция) t , мин	5
Интенсивность (плотность мощности) P , мВт/см ²	1,8
Падающая доза (плотность энергии) $D_{пад}$, Дж/см ²	0,537

4.2.7.9 Установите преобразователь температуры DS1820 в первую измерительную точку (r_1), а облучающий терминал в центре разметки биоткани.

4.2.7.10 Кнопкой включения «сеть» включите автоматизированную систему сбора и анализа данных САДТ-1; запустите программу автоматической обработки экспериментальных данных (ярлык программы расположен на рабочем столе компьютера); в программе выберите вкладку канала измерения температуры.

4.2.7.11 Измерьте начальную температуру эпидермиса Θ_0 в течение 200 с, включив канал измерения 2 раза (длительность сбора данных, заложенная в канале измерения температуры, $T_{max} = 100$ с); запишите результат измерения.

4.2.7.12 На облучающем терминале нажмите кнопку RAY (ПУСК) и одновременно включите канал измерения температуры. Так как длительность измерения $T_{max} = 100$ с, а время экспозиции составляет 300 с, то необходимо включать канал измерения температуры 3 раза.

4.2.7.13 После завершения переходных процессов в эпидермисе (выход кривой нагрева в установившийся режим) измерьте устано-

вившуюся температуру Θ_1 в первой измерительной точке r_1 ; затем, аккуратно перенеся преобразователь температуры во вторую измерительную точку r_2 , измерьте установившуюся температуру Θ_2 .

4.2.7.14 Полученные экспериментальные данные занесите в таблицу 5 и введите в специальную программу в среде MathCAD 2000 Professional (пример расчета представлен в приложении Б); произведите расчет остальных параметров, используя данную программу; результаты занесите в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты эксперимента

Наименование параметра	Значение
Падающая доза $D_{\text{пад}}$, Дж/см ²	0,537
Коэффициент отражения ρ (λ), %	
Начальная температура эпидермиса Θ_0 , °C	
Температура эпидермиса Θ_1 (при $r_1 = 15$ мм), °C	
Температура эпидермиса Θ_2 (при $r_2 = 17$ мм), °C	
Градиент температуры на границе светового пятна $\left(\frac{\partial \Theta}{\partial r}\right)_R$, °C/м	
Поглощаемая в эпидермисе мощность излучения $P_{\text{наг}}$, мВт	
Коэффициент теплового поглощения эпидермиса ξ , %	
Коэффициент поглощения внутренними тканями κ , %	
Поглощенная доза $D_{\text{погл}}$, Дж/см ²	

4.2.7.16 Разработайте блок-схему биотехнической системы контроля отражения излучения от биоткани и поглощения мощности излучения в эпидермисе при низкоинтенсивной лазерной терапии. Укажите возможные каналы регулирования мощности излучения.

Проанализируйте возможность использования подобных систем в автоматическом режиме работы.

4.1.7.15 Сделайте выводы по результатам работы.

4.2.8 Содержание отчета

Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы, технические характеристики используемого аппарата; таблицу с параметрами

рами воздействия НИЛИ (табл. 4); таблицу результатов эксперимента (табл. 5); диаграмму распределения температуры по поверхности эпидермиса в установившемся режиме (из программы расчета на ПЭВМ); схему БТС контроля отражения излучения от биоткани и поглощения мощности излучения в эпидермисе при НИЛТ внутренних органов (с учетом возможной автоматизации); выводы по работе.

4.3 Лабораторная работа № 3

Биотехническая система контроля магнито-инфракрасного лазерного излучения с биологической обратной связью

4.3.1 Цель работы

Ознакомление студентов с методом биологической лазерной хромотерапии и с биотехнической системой, корректирующей воздействие аппарата квантовой терапии путем учета исходного состояния и фазы периода биоритмов.

4.3.2 Используемое оборудование

Магнито-инфракрасный лазерный терапевтический аппарат "РИКТА-05", датчик пульса и датчик дыхания.

4.3.3 Содержание работы

Практическое ознакомление с устройством и принципом действия аппарата "РИКТА-05", экспериментальное исследование биоритмов человека и разработка структуры биотехнической системы, осуществляющей коррекцию низкоинтенсивного лазерного воздействия.

4.3.4 Подготовка к работе

Самостоятельная подготовка студентов к лабораторной работе осуществляется в следующих направлениях:

- изучение теоретической части по теме работы по данному пособию и другим литературным источникам;
- проверка степени подготовленности к работе по контрольным вопросам;
- подготовка отчета по лабораторной работе.

4.3.5 Теоретическая часть работы

Одной из возможных причин, приводящих к неоднозначности ответных реакций больных, негативному влиянию или неэффективности лазерной терапии, является игнорирование влияния биоритмов внутриклеточных процессов и организма пациента в целом и динамики их изменения во время сеанса на результат лечебного воздействия. Методы контроля лазерной процедуры, основанные на биоуправлении, осуществляют воздействие лазерным излучением в соответствии с биоритмологическими показателями организма. Теперь, наряду с медикаментами и физиотерапевтическими методами, во врачебную практику входит третий важнейший фактор лечения – время. Это направление получило официальное название – *хронотерапия*.

Биоуправление, основанное на хронобиологическом подходе, позволяет прогнозировать ответную реакцию биосистемы на дозируемое воздействие благодаря автоматическому учету исходного состояния и фазы периода биоритмов. Если физиологическое воздействие наносится только в благоприятную для положительной ответной реакции фазу биоритмов, то это исключает расшатывание гомеостаза в обе стороны, обеспечивая коррекцию регулируемых переменных только в сторону нормализации.

Без учета фаз энергообеспечения ответных реакций лечебный эффект или побочная реакция зависят от суммирования положительных и отрицательных ответов на лазерное воздействие на клеточном уровне. Причем регуляция воздействия лишь по отклонению одного регистрируемого параметра (например, частоты пульса) не позволяет устранить патологическую форму гомеостаза, и компенсационные изменения в других органах и системах не гарантируют отсутствия осложнений и побочных эффектов, появляющихся как и при обычной физиотерапии.

4.3.5.1 Теоретические основы квантовой медицины

Квантовая терапия возникла в середине 80-х годов прошлого века и представляет собой полифакторное (сочетанное), одновременное воздействие на биологические структуры объекта (пациента, животного, растения) импульсного инфракрасного лазерного излучения, пульсирующего широкополосного инфракрасного излучения, пульсирующего красного излучения и постоянного магнитного поля.

Основным лечебным фактором квантовой терапии является импульсное инфракрасное лазерное излучение полупроводникового арсенид-галлиевого лазерного диода (длина волны 890 нм), которое, обладая монохроматичностью (узкополосностью), пространственной и временной когерентностью и поляризованностью, оказывает, благодаря этим свойствам, мощное стимулирующее воздействие на кровообращение, мембранный клеточный обмен веществ, гармонизирует гормональные факторы обмена веществ и оказывает другое положительное влияние. Как уже отмечалось, глубина проникновения низкоинтенсивного лазерного излучения в биообъект зависит, главным образом, от длины волны (рис. 14), поэтому для ближнего инфракрасного диапазона спектра биологические ткани обладают наибольшей оптической прозрачностью.



Рис. 14. Глубина относительного проникновения излучения в биоткань в зависимости от длины световой волны

Энергия фотонов инфракрасной области колеблется в пределах от 1 до 1,5 эВ, и ее недостаточно, чтобы повредить сильные межмолекулярные

кулярные связи биополимеров, энергия межатомных связей которых составляет 2,06...12,6 эВ. Но в то же время этой энергии достаточно для стимуляции колебательных процессов в молекулах вещества и активации электронного возбуждения атомов. При этом световая энергия почти полностью затрачивается на фотофизические реакции, то есть превращается в тепловую. Температурный градиент, вызываемый излучением аппарата, достаточно мал (менее одного градуса), а главное, он значительно меньше значений, способных вызвать необратимые изменения клеточных структур. Таким образом, основным эффектом инфракрасного излучения является слабое тепловое воздействие при большой глубине проникновения, а терапевтический эффект связан с активацией процесса микроциркуляции в биоткани, активацией молекул, физических и биохимических процессов.

Пульсирующее широкополосное инфракрасное излучение полупроводниковых светодиодов обладает меньшей, чем лазерное, биологической эффективностью вследствие большей спектральной широты, некогерентности и неполяризованности. Оно проникает на большую глубину и оказывает гармонизирующее воздействие на тонус центральной и вегетативной нервной системы. Диапазон волн составляет 800–900 нм, а энергия квантов здесь выше, чем у ИК-излучения, и достигает 1,6 эВ. Однако некогерентный неполяризованный широкополосный характер такого излучения также обеспечивает полную безопасность воздействия на биоткани, содействуя более глубокому проникновению лазерного излучения.

Диапазон длин волн *пульсирующего широкополосного красного излучения*, видимого глазом, составляет 600–700 нм и имеет максимальную энергию фотона около 2 эВ. Однако этой энергии также недостаточно для возникновения деструктивных процессов в тканях. Проникая на незначительную глубину, это излучение, тем не менее, оказывает благоприятное воздействие, уменьшая интенсивность воспалительных процессов в коже и подкожной клетчатке, особенно в зонах организма, имеющих большое количество рыхлой соединительной ткани. Кроме этого пульсирующий красный свет, визуализируя работу излучателя, является мощным психотерапевтическим фактором для пациента. Следует отметить, что обшетонизирующее действие видимого красного света давно уже стало научным фактом.

В организме постоянно идут процессы электролитической диссоциации молекул, и параллельно с ними идут процессы их рекомбина-

ции (восстановления). Фотоэлектрический эффект, при котором наведенная ЭДС достигает величин, способствующих диссоциации, усиливается постоянным магнитным полем, позволяющим на определенное время удерживать молекулы в диссоциированном состоянии. Постоянное магнитное поле поворачивает оси молекулярных магнитных диполей, увеличивая внутреннюю энергию молекул. Оно также позволяет удерживать ионизированные молекулы тканей в диссоциированном состоянии, что повышает эффективность воздействия других лечебных факторов квантовой терапии на молекулярном и клеточном уровне. Протекание в сосудах потока ионизированных молекул и ток крови в магнитном поле вызывает их прижатие к стенкам и завихрение (турбулентность) потока, что усиливает интенсивность насыщения тканей кислородом и вывод шлаков.

Таким образом, под влиянием магнитного поля увеличивается проникновение инфракрасного излучения вглубь ткани, а также усиливаются турбулентные процессы в циркулирующих жидкостях. Индукция постоянного магнитного поля магнито-инфракрасного лазерного аппарата, равная 35 ± 10 мТл, достаточна для переориентировки молекул-диполей и части ионизированных в жидких средах.

Теоретически обосновано и практически доказано усиление эффекта биостимуляции при сочетании действия составляющих квантовой терапии при указанных выше физических характеристиках излучений магнито-инфракрасного лазерного аппарата. Все вышеперечисленные лечебные факторы, действуя одновременно (синергично), взаимно усиливают друг друга и тем самым обуславливают уникальный физиотерапевтический, лечебный, энергогармонизирующий и профилактический эффекты полифакторного воздействия.

4.3.5.2 Основы биологической лазерной хронотерапии

Идеи о периодичности процессов в человеческом организме нашли яркое отражение в учении восточной медицины с её представлениями о суточном периоде циркуляции в организме "жизненной энергии" и связанных с этим различных максимумах и минимумах функционирования органов и систем. Подтверждается это измерением физиологических показателей, проведенным в различное время и дающим совершенно разные результаты, что может служить причиной неточной диагностики. В каждый момент времени организм представляет собой различную биохимическую и физиологическую сущность, и терапевтическое воздействие в зависимости от времени его нанесения может обладать совершенно различным эффектом.

Хронобиологические исследования доказывают различие не только интенсивности, но и направленности (знака) ответной реакции живого субстрата на одно и то же внешнее физическое воздействие в зависимости от исходного состояния или, иначе, фазы биоритма клетки, ткани, органа и организма. Знание периодов, когда такое воздействие наиболее эффективно, может дать возможность добиться желаемого результата применением меньших доз лечебных воздействий, с меньшим риском развития побочных эффектов и осложнений.

Естественные колебания физических полей стали «языком» взаимодействия между живыми клетками и другими биосистемами. Именно поэтому квантовая терапия является биологически адекватным способом коррекции нарушенных связей в организме человека при различных заболеваниях. В частности, воздействие на изолированную клетку только в фазы увеличения энергообеспечения (усиления диффузии кислорода, усиления транспорта энергетических субстратов и увеличения активности ферментов энергетического обмена) приводит к устойчивому повышению содержания белка в клетке и усилению биосинтеза. Наоборот, воздействие в фазы снижения энергетики клетки усиливает преобладание деструктивных процессов.

Принципиально важно, что эффективное биоуправление достигается лишь при *многочастотном воздействии* в соответствии с иерархией периодов биоритмов энергетики клетки. Для этих биоритмов характерны варьирующиеся периоды, и поэтому они не могут имитироваться гармоническими колебаниями. По этой причине использование в физиотерапии фиксированных частот не всегда может гарантировать адекватный «отклик» организма в виде однозначных ответных реакций. Указанные в методических руководствах оптимальные частоты для конкретных болезней или проявление отдельных эффектов не подтверждаются на практике. Различие часто наблюдается не за счет отличия используемых частот, а за счет изменения при этом средней плотности мощности. Все биоритмы имеют флюктуирующий период, а направленность ответных реакций зависит от статистики попадания в разные фазы их энергообеспечения и исходного состояния. Без автоматического учета биоритмов пациента в режиме биоуправления прогноз и гарантия лечебного эффекта невозможны. Действительно оптимальными могут быть воздействия с иерархией биоритмов самого пациента.

В клинической практике широкое распространение нашли показатели функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем. Каждый отрицательный импульс напряжения, снимаемый с датчика пульса, представляющего собой оптронную пару, находящуюся в контакте с одним из пальцев пациента, соответствует одному сердечному сокращению пациента (рис. 15, а). Амплитуда электрического сигнала (рис. 15, б) с датчика дыхания, расположенного на специальном поясе на верхней губе пациента, увеличивается при вдохе и уменьшается при выдохе. Суммарное выходное напряжение (рис. 15, в) будет иметь несколько составляющих: U_1 – постоянная составляющая выходного напряжения; U_2 – составляющая, пропорциональная изменениям объема грудной клетки, вызванным дыхательной деятельностью пациента; U_3 – составляющая, обусловленная сердечной деятельностью, которая снимается не относительно средней точки, а относительно минуса источника питания и сдвигается, тем самым, в область одного знака.

Преимущества биоуправления достигаются еще и за счет того, что вводится задержка по сигналу пульса, необходимая для учета скорости распространения пульсовой волны и венозного кровотока под действием дыхательного подсоса в соответствии с расстоянием от датчика до места физиотерапевтического воздействия. Необходимо учитывать различие путей распространения пульсовой волны от сердца до места расположения датчика пульса и места патологии. Датчик пульса (чаще это фотодатчик из свето- и фотодиода или оптронная пара как наиболее помехоустойчивые по сравнению с другими видами датчиков) может располагаться на мочке уха или на пальце руки.

Скорость пульсовой волны в сосудах эластического типа составляет 5-6 м/с, мышечного типа – 7-8 м/с. При патологии и с возрастом в результате склероза эта скорость возрастает. Однако практические измерения запаздывания пульса показывают, что при расположении датчика пульса на пальце руки введение задержки на 0,1 с необходимо только при обработке тканей голени и стопы ноги. В этом случае у всех пациентов усиление воздействия приходится в пределах фазы увеличения кровенаполнения ткани.

Для датчика дыхания введение задержки из-за большой продолжительности фазы вдоха не требуется.

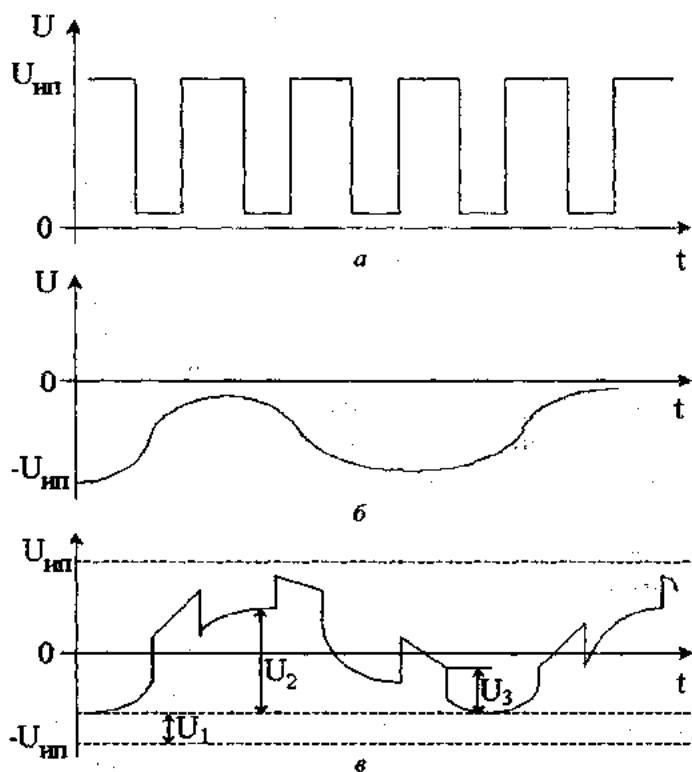


Рис. 15. Временные диаграммы ритма пульса и дыхания

В начале сеанса происходит перестройка ритмов кровотока в месте патологии, и вскоре автоматически обеспечивается необходимая синхронизация вне зависимости от характера дыхания и частоты пульса.

Само воздействие осуществляется синхронно с ритмом пульса и дыхания, так как в дальнейшем выходное напряжение с измерительных датчиков воздействует на стационарный сигнал, называемый носителем, то есть осуществляется *модуляция*. На уровне организма наиболее благоприятными являются фазы ритмов увеличения кровенаполнения ткани, когда избирательно открываются капилляры вблизи клеток с повышенной возбудимостью, и усиливается энергетика их ансамблей. Именно несущая частота тремора (т.е. произвольного

ритмического колебания мышечных тканей), находящаяся в диапазоне 7 – 13 Гц, модулируется сигналами с датчиков пульса и дыхания, что позволяет автоматически синхронизировать интенсивность лечебного воздействия с биоритмами организма.

Модуляцию можно трактовать как умножение модулируемой функции (носителя) на величину $1 + MU(t)$, где $U(t)$ – модулирующая функция или суммарное напряжение с измерительных датчиков, M – глубина модуляции ($0 \leq M \leq 1$), а амплитуда носителя при этом будет изменяться по закону изменения модулирующего напряжения. Выражение для импульсного сигнала, модулированного по амплитуде синусоидальным напряжением, имеет следующий вид:

$$u = U_m \sum_{i=1}^{\infty} \delta(t - iT)(1 + M \cos \omega t),$$

где U_m – амплитуда носителя;

$\delta(t - iT)$ – дельта-функция, описывающая последовательность импульсов;

i – номер импульса;

$T = \frac{1}{F}$ – промежуток времени между соседними импульсами,

где F – несущая частота тремора, плавно меняющаяся во время сеанса;

$$\omega = 2\pi f,$$

где f – модулирующая частота выходного напряжения измерительных датчиков.

Коэффициент (глубина) модуляции M равен отношению изменения амплитуды ΔU колебания носителя при модуляции последнего к ее значению U в отсутствие модуляции:

$$M = \frac{\Delta U}{U}.$$

Максимальное изменение амплитуды не должно превышать ее значения, и поэтому максимальная величина глубины модуляции $M = 1$. При отсутствии модуляции $M = 0$. Амплитуда модулированного сигнала будет обусловлена глубиной модуляции, и в зависимости от характера заболевания, т.е. органа, подвергающегося облучению, выбирается необходимый режим работы.

Каждый импульс носителя заполняется высокочастотным сигналом с частотой следования импульсов, равной 22,5 кГц, которая соот-

ветствует максимуму образования синглетного кислорода и обеспечивает более глубокое проникновение в ткани излучения.

Результующая характеристика модулированного выходного напряжения показана на рис. 16, где T_1 – период следования импульсов частотой 22,5 кГц; τ – длительность высокочастотных импульсов; T_2 – плавно меняющийся период следования импульсов частотой 7–13 Гц.

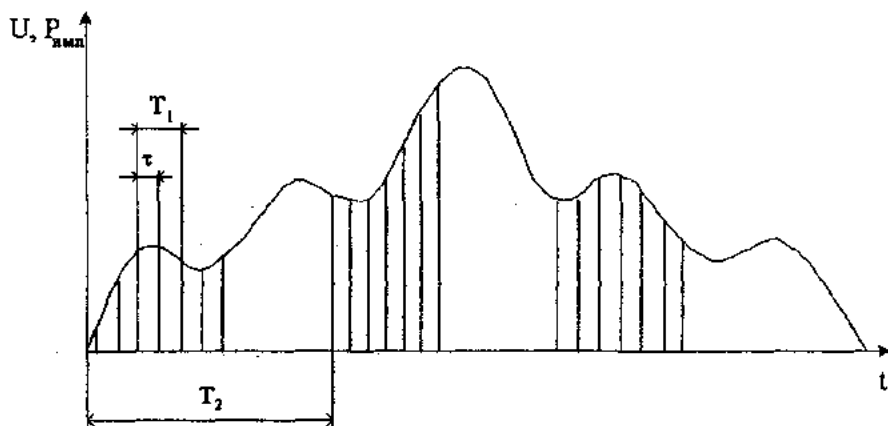


Рис. 16. Амплитудно-модулированный сигнал

Так как мощность импульсного лазерного излучения пропорциональна модулированному выходному напряжению, то этот же рисунок хорошо иллюстрирует процедуру лазерного воздействия во время сеанса физиотерапии. Автоматическая синхронизация квантового воздействия с фазами текущих ритмов увеличения кровенаполнения ткани позволяет индивидуально оптимизировать квантовую терапию, основываясь на глубине модуляции по сигналам пульса, дыхания и тремора.

Для оценки эффективности лечения кроме клинических показателей и хронобиологических алгоритмов функций сердечно-сосудистой и дыхательной систем используются еще и реографические, микроплетизмографические и флоуметрические характеристики кровотока и микроциркуляции, иммунологические и биохимические показатели:

- 1) величина амплитуды колебаний внутриклеточных микроструктур в клетках эпителия щеки человека;
- 2) нормализация активности ферментов крови;
- 3) нормализация иммунитета по показаниям дифференциальной термометрии;
- 4) нормализация спектра ритмов микроциркуляции крови при лазерной доплеровской флоуметрии;
- 5) нормализация вегетативного статуса;
- 6) нормализация дисперсии отношения частоты пульса к частоте дыхания.

Режим биоуправления значительно расширяет терапевтический диапазон интенсивностей квантовой терапии; более слабые по средней плотности мощности воздействия становятся эффективнее, а более сильные еще не вызывают передозировки. Оптимальные интенсивности смещаются в ту или иную сторону для разных больных и даже для одного и того же больного в разное время и в разные дни. Режим биоуправления снижает требования к индивидуальному подбору параметров лечения и практически исключает побочные эффекты и передозировку.

Общим в режиме биоуправляемой квантовой хронотерапии для всех изученных заболеваний явилось увеличение интегральной целостности организма больного и восстановление гармонии его биоритмов. Для увеличения стабильности лечебного эффекта необходим учет не только спектра биоритмов, отражающихся в сигналах тремора, пульса и дыхания, но и более медленных биоритмов организма больного. Ритм перераспределения кровотока и тонуса мышц с периодами около 5 минут нормализуется благодаря эмпирически найденным оптимальным продолжительностям сеанса и времени обработки одного поля. Околочасовые ритмы синтеза белка и функциональных систем организма учитываются исключением функциональных нагрузок в течение 30 – 60 минут после сеанса квантовой терапии. Для усвоения организмом лечебного воздействия и стабилизации положительных изменений в микроциркуляции и трофике ткани необходим пассивный отдых больного. Околосуточный ритм учитывается при ежедневном назначении сеансов, причем лечебное воздействие по времени суток не должно совпадать с максимумом активности органа, который подвергается лечебному воздействию.

Для увеличения эффективности лечения большинства заболеваний необходимо использовать разные соотношения глубин амплитудной

(или частотной) модуляции сигналов с датчиков пульса, дыхания и тремора, потому что квантовая терапия не сводится к простому суммированию действия лазера в инфракрасном, красном диапазонах и магнитного поля. Неаддитивность эффекта доказывается снижением эффективности лечения при последовательном, а не одновременном воздействии теми же тремя видами лечебных факторов с теми же параметрами, подобно тому, как вкусовые ощущения от кусочка торта нельзя заменить, если последовательно съесть кусок масла, ложку сахара и кусок теста.

Квантовый характер магнитного поля при использовании постоянного магнита объясняется магнитной индукцией, вызываемой движением крови, содержащей железо в эритроцитах. Распространение и поглощение фотонов квантового излучения зависит от пространственной организации обрабатываемой ткани и клеток. Однако главной для биологического эффекта является временная организация перемежающихся функциональных единиц клеток ткани, обладающих в момент обработки повышенной возбудимостью и наибольшей чувствительностью к квантовому воздействию. Синхронизация квантового воздействия с увеличением кровенаполнения ткани и усилением энергетики клеток с повышенной чувствительностью увеличивает вероятность положительных реакций.

Одним из главных достоинств аппарата "РИКТА-05" является использование в нем таймера не с физическими, а с биологическими индивидуальными эталонами времени, экспозицией. Скорость биологических процессов индивидуальна, а эмоциональный фактор и соответственно гормональный фон также способны резко изменять скорость нейропсихических, соматических процессов организма и структурно-метаболических и функциональных процессов на тканевом, клеточном и субклеточном уровнях.

Учесть индивидуальные различия и иерархию биоритмов можно только в режиме интерактивной хронодиагностики и биоуправляемой хронотерапии. Биологическим эталоном времени у человека является межпульсовый интервал. Использование его вместо отсчета в секундах или минутах позволяет обеспечить одинаковые условия воздействия по длительности и, благодаря образованию тканевой памяти, увеличить стабильность лечебного эффекта. Использование биологического таймера ускоряет образование тканевой памяти при биоуправляемой квантовой хронотерапии. В этом случае выработка условного рефлекса реакции капиллярной сети на вдох пациента, при котором

усиливается квантовое воздействие, ускоряется, а прочность рефлекса увеличивается.

Все вышеперечисленные особенности лазерной хронотерапии воплощены в магнито-инфракрасном лазерном аппарате с биологической обратной связью “РИКТА-05”, который имеет ряд принципиальных особенностей. Вместо фиксированных частот воздействия используются сигналы с датчиков пульса и дыхания пациента, которые содержат широкий набор ритмов кровотока. Воздействие с помощью “РИКТА-05” производится автоматически синхронно с изменением этих ритмов самого пациента, усиливаясь только в благоприятные моменты увеличения кровенаполнения ткани, когда повышены энергетические ресурсы ответных реакций активных клеток. В соответствии с характером патологии (видом заболевания) вместо установления частоты воздействия выбирается один из четырех режимов лечения, отличающихся разным соотношением глубин модуляции сигналов датчиков пульса, дыхания и тремора (варьирующая частота 7 – 13 Гц).

Мощность в аппарате “РИКТА-05” не регулируется, так как целесообразно работать всегда на максимальной мощности со средней плотностью мощности 1 мВт/см^2 . Режим биоуправления с учетом биоритмов самого пациента исключает привыкание и адаптацию, так как периоды сокращений сердца и периоды дыхания постоянно варьируются. Благодаря согласованию местного и центрального кровотоков обеспечивается системный характер лечения, увеличение гармонии всех функциональных систем и биоритмов организма человека.

О реакции пациента на сеанс квантовой терапии с помощью аппарата “РИКТА-05” можно судить по изменению частоты пульса, частоты дыхания, но, главное, по хронобиологическому показателю, использовавшемуся еще в далекой практике восточной медицины, – отношению частоты пульса к частоте дыхания. Благоприятным по результату действия следует считать сохранение или приближение этого показателя к диапазону от 3 до 5. Выход за этот диапазон свидетельствует при исходном состоянии до начала сеанса о наличии соответственно «горячих» или «холодных» – по терминологии восточной медицины – болезней. В случае уменьшения от нормального диапазона ниже 3 или увеличения выше 5 в ходе сеанса необходимо прекратить сеанс лечения и сделать перерыв на сутки либо проводить сеанс в другое время суток.

Важной особенностью аппарата "РИКТА-05" является возможность оперативной оценки реакции больного на лечебное воздействие. Рекомендуется записать показатели частоты пульса, частоты дыхания и отношение частоты пульса к частоте дыхания до начала лечебной процедуры, наблюдать эти значения в ходе сеанса лечения и после него.

В случае резкого повышения частоты пульса, т.е. увеличения отношения больше 7-9 или, наоборот, меньше 2, необходимо прекратить сеанс. Последующие сеансы проводить с исключением зон, при воздействии на которые проявились предшественники негативной реакции (ухудшение отношения частоты пульса к частоте дыхания). При нормальной реакции сохранения отношения в диапазоне 3-5 или сохранения его значения примерно на том же уровне, как до начала сеанса, либо, наоборот, при приближении его к нормальному диапазону для здорового человека (диапазон 3-5) следует повторять последующие сеансы лечения в том же режиме на те же зоны.

Необходимо заметить, однако, что при тех или иных заболеваниях фазы индивидуальных околосуточных ритмов могут заметно сдвигаться относительно нормы, поэтому необходим интерактивный режим одновременной хронодиагностики.

4.3.6 Контрольные вопросы

1. Укажите основные особенности биологических систем управления.
2. Объясните сущность метода пространства состояний. Укажите недостатки метода, препятствующие его применению в клинических условиях.
3. Дайте определения медленно и быстро изменяющихся физиологических процессов в организме, приведите примеры.
4. Какое управление называется биологическим? Какие сигналы используются для осуществления биоуправления?
5. Укажите особенности метода квантовой терапии, опишите механизм его действия.
6. Какое влияние на результат низкоинтенсивной лазерной терапии оказывает учет биоритмов клетки, ткани, органа, организма?
7. Расскажите об особенностях метода биологической лазерной хронотерапии. Каким образом учитываются индивидуальные особен-

ности каждого пациента? Укажите его преимущества по сравнению с обычным лазерным воздействием.

Ответ проиллюстрируйте временными диаграммами и приведите математическое описание импульсного сигнала, модулированного по амплитуде.

8. По каким критериям может вестись оптимизация параметров квантовой терапии?

9. Почему в качестве критерия оценки состояния пациента при НИЛТ используется отношение частоты пульса к частоте дыхания? Почему нельзя использовать только один из этих параметров? Какое отношение частоты пульса к частоте дыхания считается нормой?

4.3.7 Порядок выполнения работы

4.3.7.1 После собеседования с преподавателем по теоретической части работы получите у него необходимое оборудование и приборы.

4.3.7.2 Ознакомьтесь с инструкциями и правилами работы с оборудованием и приборами, запишите их основные параметры.

4.3.7.3 Подготовьте аппарат к работе.

1) Убедитесь, что датчики дыхания и пульса подсоединены к электронному блоку управления.

2) Предварительно убедитесь, что выключатель сетевого напряжения находится в положении "0". Вставьте вилку в сетевую розетку и переведите выключатель сети в положение "1". После кратковременного звукового сигнала на экране дисплея должна появиться надпись:

**ВЫБЕРИТЕ РЕЖИМ
ПРИБОРА
БИО СТАНДАРТ**

3) Проверьте работоспособность аппарата.

Проверка осуществляется в режиме отсутствия сеанса лечения (СТОП). Установите излучатель на шайбу ТЕСТ датчика контроля, расположенную на панели электронного блока управления.

На экране дисплея после кратковременного звукового сигнала должна появиться надпись:

**ТЕСТ ТЕРМИНАЛА
ЛАЗЕР ЖДИТЕ
ИНФРАКРАСНЫЙ
КРАСНЫЙ**

Далее в автоматическом режиме аппарат осуществляет проверку всех типов излучения. При проверке конкретного излучения на экране дисплея справа от его наименования появится надпись "ЖДИТЕ", а после проверки:

- надпись "НОРМА", если излучение имеется;
- надпись "ОТКАЗ", если излучение отсутствует, т.е. обнаружена неисправность.

После окончания проверки и работоспособности всех типов излучателей на экране дисплея устанавливается следующая информация:

ТЕСТ ТЕРМИНАЛА
ЛАЗЕР НОРМА
ИНФРАКРАСНЫЙ НОРМА
КРАСНЫЙ НОРМА

При снятии излучателя с шайбы датчика контроля с экрана дисплея исчезает информация о работоспособности излучателей и появляется какой-либо режим установки.

4.3.7.4 Работа аппарата в режиме СТАНДАРТ.

СТАНДАРТНЫЙ – режим работы, при котором оператор сам устанавливает параметры излучающего воздействия; в этом случае сигналы с датчиков дыхания и пульса используются только для информации о состоянии пациента.

1) Нажимая на кнопку **ВЫБОР**, выберите режим работы аппарата **СТАНДАРТ**, при этом на экране дисплея надпись начинает мигать.

Нажмите кнопку **РЕЖИМ**. Аппарат переходит в режим **СТАНДАРТ**, и на экране дисплея появляется режим установки частоты.

2) Установка частоты производится в соответствии с медицинскими указаниями путем ее выбора из ряда 5 Гц, 50 Гц, 1000 Гц, **ПЛАВНО** (медленное изменение частоты импульсов излучения от 250 до 1Гц).

В работе проводится установка частоты, заданной преподавателем, путем нажатия кнопки **ВЫБОР**.

3) Нажмите кнопку **РЕЖИМ**. В верхней части экрана дисплея должен появиться режим установки времени:

СЕАНС 2 МИН

Установка времени производится в соответствии с методикой лечения. В работе необходимое значение продолжительности сеанса задается преподавателем из ряда: 1 мин, 2 мин, 5 мин, 10 мин и устанавливается нажатием кнопки **ВЫБОР**.

4) Нажмите кнопку РЕЖИМ и установите режим мощности лазерного излучения. При этом на верхней строке экрана дисплея должна появиться надпись:

МОЩНОСТЬ ОКГ 100 %

Нажимая кнопку ВЫБОР, установите относительную величину мощности лазерного излучения из ряда: 0 %, 50 %, 100 %.

5) Нажмите кнопку РЕЖИМ и установите режим изменения мощности ИК-диодного излучения, при этом на верхней строке экрана дисплея появится надпись:

МОЩНОСТЬ ИК 100 %

Нажимая кнопку ВЫБОР, установите относительную величину мощности ИК-диодного излучения из ряда: 0 %, 50 %, 100 %.

6) Аппарат готов к работе в режиме СТАНДАРТ.

4.3.7.5 Изобразите упрощенную блок-схему аппарата РИКТА-05 в режиме СТАНДАРТ.

4.3.7.6 Измерение биоритмов.

Измерение биоритмов проводится индивидуально у каждого члена бригады.

1) Подсоедините датчик пульса (на палец) и датчик дыхания (на верхнюю губу) к студенту:

– датчик дыхания – положите датчик дыхания выше верхней губы с расположением выступов на датчике в сторону носовых отверстий, закиньте провода от датчика за уши, проверьте наличие показания и диаграммы на экране дисплея;

– датчик пульса – вставьте палец до упора в датчик пульса, проверьте наличие показания пульса и диаграммы на экране дисплея.

Нажмите кнопку ПУСК/СТОП аппарата. При этом будет слышен кратковременный звуковой сигнал и на экране дисплея появится, например:

ЧАСТОТА 5 ГЦ 01:59

П *** Д** П/Д ***

П

Д

т.е. установленные ранее режимы работы, и начинается обратный отсчет времени.

2) Зафиксируйте биоритмы на дисплее аппарата, используя стилизованные осциллограммы пульса и дыхания и цифровую информацию о частоте пульса и дыхания (в мин) и их отношения.

ЧАСТОТА 5 ГЦ 01:26

П 60 Д 15 П/Д 4



4.3.7.7 Проанализируйте полученные зависимости и сделайте вывод о гармоничности зафиксированных биоритмов и возможности проведения процедуры квантовой терапии.

4.3.7.8 Изобразите упрощенную блок-схему аппарата РИКТА-05 в режиме СТАНДАРТ с подсоединенными датчиками пульса и дыхания (полуавтоматический режим).

4.3.7.9 Работа аппарата в режиме БИО.

БИО – режим работы, позволяющий автоматически синхронизовать и дозировать уровень излучающего воздействия в зависимости от сигналов датчиков дыхания и пульса, т.е. в режиме БИО-управления.

1) Нажимая кнопку ВЫБОР, выберите режим работы аппарата – БИО, при этом на экране дисплея надпись начнет мигать. Нажмите кнопку РЕЖИМ. После этого аппарат переходит в режим работы БИО, и на экране дисплея появится режим установки времени сеанса в пульсовых ударах (сердечных сокращений - сс):

СЕАНС 120 сс
П *** Д ** П/Д ***
П
Д

2) В соответствии с медицинскими указаниями, нажимая кнопку ВЫБОР, установите требуемое время продолжительности сеанса. В работе оно задается преподавателем из ряда: 60 сс, 120 сс, 600 сс.

3) Нажмите кнопку РЕЖИМ. При этом на верхней строке дисплея появится:

РЕЖИМ 1

Нажимая кнопку ВЫБОР, установите вариант работы: РЕЖИМ 1, РЕЖИМ 2, РЕЖИМ 3, РЕЖИМ 4.

4) Нажмите кнопку РЕЖИМ и установите режим изменения реверсии, при этом на верхней строке экрана дисплея появится надпись:
РЕВЕРСИЯ ВЫКЛЮЧЕНА

Нажимая кнопку ВЫБОР, можно включить или выключить реверсию.

5) Нажмите кнопку РЕЖИМ и установите режим изменения задержки, при этом на верхней строке экрана дисплея появится надпись:

ЗАДЕРЖКА ВЫКЛЮЧЕНА

Нажимая кнопку ВЫБОР, можно включить или выключить задержку.

б) Аппарат готов к работе в режиме БИО.

4.3.7.10 Изобразите упрощенную блок-схему работы аппарата РИКТА-05 в режиме БИО.

4.3.7.11 Разработайте структурную схему биотехнической системы контроля магнито-инфракрасного лазерного излучения с биологической обратной связью. Укажите каналы режима СТАНДАРТ и БИО, выделите канал, позволяющий осуществлять работу в полуавтоматическом режиме.

4.3.7.12 Сделайте выводы по результатам работы.

4.3.8 Содержание отчета

Отчет должен содержать ответы на контрольные вопросы; технические характеристики используемого аппарата; упрощенные блок-схемы работы аппарата РИКТА-05 в трех режимах; результаты экспериментального исследования биоритмов всех членов бригады; результаты анализа экспериментальных зависимостей и структурную схему биотехнической системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам. – М.: Издательство стандартов, 1995.
2. Биотехнические системы: теория и проектирование / В.М. Ахутин, А.П. Немирко, Н.Н. Першин, А.В. Пожаров, Е.П. Попечителей, С.В. Романов. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. – 220 с.: ил.
3. Техника и методики физиотерапевтических процедур (справочник) / Под ред. В.М. Боголюбова. – Тверь, Губернская медицина, 2002. – 408 с.
4. Гэлстон А. Жизнь зеленого растения / А. Гэлстон, П. Дэвис, Р. Сэтгер. – М.: Мир, 1983. – 352 с.
5. Дунаев А.В. Метод контроля поглощаемой в эпидермисе мощности излучения при низкоинтенсивной лазерной терапии // Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Орел: ОрелГТУ, 2002.
6. А/с СССР № 1342512 А61N1/36. Устройство для физиотерапии. С.Л. Загускин, Ю.Ш. Сабиров. Бюл. №11, 20.04.95.
7. Загускин С.Л. Биоритмологическое биоуправление // Хронобиология и хрономедицина / Под ред. Ф.И. Комарова и С.И. Рапопорта. – М.: Триада-Х, 2000. – С. 317-328.
8. Методические рекомендации по применению магнитоинфракрасного аппарата квантовой терапии Рикта-05 / Под ред. Ю.Б. Хейфеца. – М.: ЗАО “Милта – ПКП ГИТ”, 2001. – 270 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)
Форма титульного листа
отчета по лабораторной работе

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ОРЛОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Приборостроение,
метрология и сертификация»

О Т Ч Е Т
по лабораторной работе № ___

« _____ »
(название лабораторной работы)

по дисциплине «Основы теории биотехнических систем».

Студент:

Группа:

Допущен к работе: _____

(подпись преподавателя)

Отметка о зачете: _____

(подпись преподавателя)

Орел, 200__ г

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Пример расчета на ЭВМ поглощаемой в эпидермисе мощности излучения и поглощенных доз внутренними тканями при НИЛТ внутренних органов (лабораторная работа № 2)

Пациент А: 25 лет

Облучаемый участок кожи пациента: группа мышц сгибателей предплечья левой руки

Параметры лазерной терапии:

- длина волны (мкм): $\lambda = 0.89$
- мощность в импульсе (Вт): $P_{\text{имп}} := 6.2$
- частота (Гц): $f := 5000$
- длительность импульса (с): $t_{\text{имп}} := 260 \cdot 10^{-9}$
- радиус светового пятна (мм): $R_{\text{л}} := 12$
- площадь облучения (см²): $S_{\text{обл}} := 4.5$
- средняя (падающая) мощность (Вт): $P_{\text{пад}} := P_{\text{имп}} \cdot f \cdot t_{\text{имп}}$ $P_{\text{пад}} = 8.06 \times 10^{-3}$
- падающая плотность мощности (интенсивность) (Вт/см²): $E := \frac{(P_{\text{имп}} \cdot f \cdot t_{\text{имп}})}{S_{\text{обл}}}$ $E = 1.791 \times 10^{-3}$
- экспозиция (время облучения) (с): $t := 300$
- энергетическая облученность (падающая доза) (Дж/см²): $D_{\text{пад}} := \frac{(P_{\text{имп}} \cdot f \cdot t_{\text{имп}})}{S_{\text{обл}}} \cdot t$ $D_{\text{пад}} = 0.537$

Результаты измерения температур эпидермиса (градусы Цельсия):

- Начальная температура эпидермиса (до воздействия): $\theta_0 := 30.23$
- Расстояние от центра светового пятна до 1-ой измерительной точки (мм): $r_1 := 15$
- Расстояние от центра светового пятна до 2-ой измерительной точки (мм): $r_2 := 17$
- Максимальная температура нагрева эпидермиса при $r_1=15$ мм от центра светового пятна с радиусом $R_{\text{л}}=12$ мм: $\theta_1 := 31.80$
- Максимальная температура нагрева эпидермиса при $r_2=17$ мм от центра светового пятна с радиусом $R_{\text{л}}=12$ мм: $\theta_2 := 31.42$

Параметры эпидермиса:

- коэффициент теплопроводности (Вт/м*град): $k_{тп} := 0.266$
- толщина эпидермиса (м): $h := 100 \cdot 10^{-6}$
- коэффициент отражения биоткани при используемой длине волны ($\lambda=0.89$ мкм) (%): $\rho := 40$

Решение уравнения теплового баланса эпидермиса в установившемся режиме методом численного интегрирования

При измерении температуры в двух точках получается система уравнений:

$$\begin{aligned} \sigma \cdot 2\Theta / \sigma^* \cdot 2 + (1/r1)^* (\sigma \Theta / \sigma) r1 + \Theta \cdot 1 \cdot B &= \Theta \cdot 0 \cdot B \\ (1 + (r2 - r1) / r2)^* (\sigma \cdot 2\Theta / \sigma^* \cdot 2) + (1/r2)^* (\sigma \Theta / \sigma) r1 + \Theta \cdot 2 \cdot B &= \Theta \cdot 0 \cdot B \end{aligned}$$

Вводим следующие обозначения:

- $G = (\sigma \Theta / \sigma) r1$ - градиент температуры для 1-ой измерительной точки, т.е. при $r1$ (град./мм);
- $G(r)$ - градиент температуры для каждой точки диаграммы распределения температуры по поверхности эпидермиса (град./мм);
- $\sigma \cdot 2\Theta / \sigma^* \cdot 2 = \alpha \cdot B$ - скорость переноса тепла, где α - коэффициент, зависящий от расстояний измерительных точек от центра светового пятна и измеренных температур эпидермиса;
- $\Theta(r)$ - температуры эпидермиса при различных расстояниях от центра светового пятна;
- $G(Rп)$ - градиент температуры на границе светового пятна с радиусом $Rп$ (град./мм).

Расстояния от центра светового пятна, при которых строится диаграмма распределения температуры по поверхности эпидермиса в установившемся режиме (мм):

$$r := 12, 13 \dots 25$$

$$\alpha := \frac{\Theta_0 \cdot r2 - \Theta_0 \cdot r1 - \Theta_2 \cdot r2 + \Theta_1 \cdot r1}{2 \cdot (r2 - r1)} \quad \alpha = 0.83$$

$$G := \frac{-(\Theta_1 - \Theta_2)}{r2 - r1} \quad G = -0.19$$

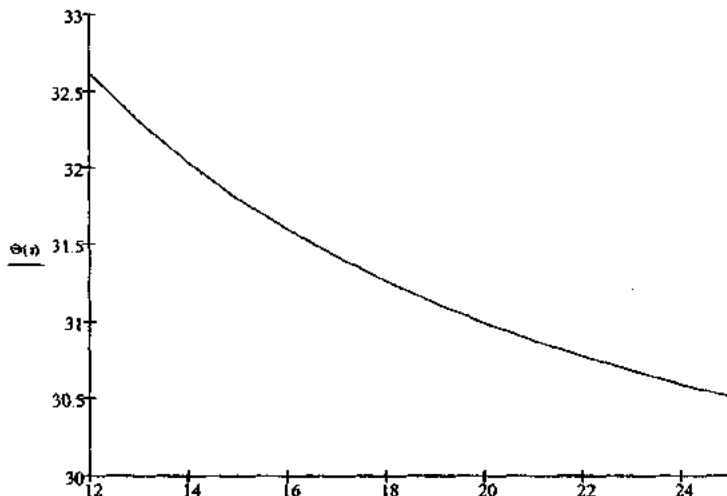
$$B := \frac{G}{(\Theta_0 - \Theta_1 - \alpha) \cdot r1} \quad \Theta := \frac{(\Theta_0 - \alpha) \cdot B - \frac{G}{r1}}{B}$$

$$\Theta(r) := G + \alpha \cdot B \cdot (r - r1)$$

$$\Theta(r) := \frac{(\Theta_0 - \alpha) \cdot B - \frac{G}{r}}{B} \quad \Theta(17) = 31.42 \quad \Theta(15) = 31.8$$

$$G(Rп) = -0.203$$

Диаграмма распределения температуры по поверхности эпидермиса в установившемся режиме



Поглощаемая в эпидермисе мощность излучения (Вт):

$$P_{\text{пгл}} := \kappa \cdot h \cdot 2\pi \cdot R_{\text{пл}} \cdot 10^{-3} \cdot (-G(R_{\text{пл}})) \cdot 1000 \qquad P_{\text{пгл}} = 4.074 \times 10^{-4}$$

Мощность, отраженная от биоткани (Вт):

$$P_{\text{отр}} := \frac{(\rho \cdot P_{\text{пгл}})}{100} \qquad P_{\text{отр}} = 3.224 \times 10^{-3}$$

Коэффициент теплового поглощения эпидермиса (%):

$$\xi := \frac{P_{\text{пгл}} \cdot 100}{P_{\text{пгл}} - P_{\text{отр}}} \qquad \xi = 8.425$$

Коэффициент поглощения лазерного излучения внутренними тканями (%):

$$\kappa := 100 - (\rho + \xi) \qquad \kappa = 51.575$$

Поглощенная доза лазерного излучения внутренними тканями при низкоинтенсивной лазерной терапии внутренних органов (Дж/см*2):

$$D_{\text{погл}} := D_{\text{плд}} \cdot \frac{\kappa}{100} \qquad D_{\text{погл}} = 0.277$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица В.1 Используемое оборудование

Название прибора	Тип	Марка	Измеряемая (генерируемая) величина, ед. изм.	Диапазон измерения (генерации) величины, ед. изм.	Класс точности (погрешность)	Напряжение и частота питания

Учебное издание

*Бондарева Людмила Александровна
Дунаев Андрей Валерьевич*

**СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ
НИЗКОИНТЕНСИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ:
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ**

Учебное пособие

Редактор Т.Д. Васильева
Технический редактор Т.П. Прокудина

Орловский государственный технический университет
Лицензия ИД №00670 от 05.01.2000 г.

Подписано к печати 15.03.2004 г. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Уч.- изд. л. 4,2. Усл. печ. л. 4,4. Тираж 100 экз.
Заказ № *73/04 м*

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ОрелГТУ,
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.