Серия «Физическая и биомедицинская электроника»

А.В. Кипенский, В.Н. Шамардина, Д.М. Дейнеко

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕРАПИЯ

Харьков 2002

Министерство образования и науки Украины

Серия «Физическая и биомедицинская электроника»

А.В. Кипенский, В.Н. Шамардина, Д.М. Дейнеко

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕРАПИЯ

Учебно-методическое пособие
для студентов, изучающих электронную медицинскую аппаратуру

Утверждено
редакционно-издательским советом
университета в качестве
учебно-методического пособия,
протокол № 2 от 26.04.2002 г.

Харьков НТУ «ХПИ» 2002

ББК 34.7
УДК 615.47

Рецензенты: В.П. Себко, д-р техн. наук, проф. Национального технического университета «ХПИ»
Н.И. Афанасьева, д-р мед. наук, с.н.с. Института медрадиологии АМН им. С.П. Григорьева

Кипенский А.В., Шамардина В.Н., Дейнеко Д.М. Ультразвуковая терапия: Учебно-методическое пособие. – Харьков, НТУ «ХПИ», 2002. – 48с. – Рус. яз.

Учебно-методическое пособие знакомит читателя с параметрами и свойствами ультразвука, его физиологическим действием, порядком и методиками проведения процедур ультразвуковой терапии. Рассмотрены конструкция и принцип действия аппарата для ультразвуковой терапии. Даны методические указания по выполнению лабораторной работы.

Предназначено для студентов, изучающих электронную медицинскую аппаратуру, а также может быть полезно студентам медицинских учебных заведений и работникам физиотерапевтических кабинетов и отделений.

Навчально-методичний посібник знайомить читача з параметрами та властивостями ультразвуку, його фізіологічним впливом, порядком та методиками проведення процедур ультразвукової терапії. Розглянуто конструкцію та принцип дії апарата для ультразвукової терапії. Наведені методичні вказівки до виконання лабораторної роботи.

Призначено для студентів, що вивчають електронну медичну апаратуру, а також може бути корисним студентам медичних навчальних закладів та робітникам фізіотерапевтичних кабінетів та відділень.

Ил. 15. Табл. 11. Библиогр. 7 назв.

ББК 34.7

© Кипенский А.В.
Шамардина В.Н.
Дейнеко Д.М.,
2002 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4
1 Применение ультразвука в лечебных целях 5
1.1 Ультразвук в медицине 5
1.2 Ультразвуковые волны 7
1.3 Физиологическое действие ультразвука 10
1.4 Параметры ультразвука и ультразвуковые аппараты, применяемые в терапии 13
1.5 Излучатели ультразвука 15
1.6 Дозирование лечебных воздействий, показания и противопоказания к применению ультразвука 17
1.7 Порядок проведения процедур ультразвуковой терапии 18
Вопросы и задания для самопроверки 21
2 Аппарат для ультразвуковой терапии «УЗТ - 1.01 Ф» 22
2.1 Назначение и основные технические данные ультразвукового аппарата 22
2.2 Конструкция ультразвукового аппарата 23
2.3 Принцип действия ультразвукового аппарата 24
2.4 Указание мер безопасной эксплуатации ультразвукового аппарата 29
2.5 Подготовка ультразвукового аппарата к работе 29
2.6 Порядок работы с ультразвуковым аппаратом 31
Вопросы и задания для самопроверки 32
3 Лабораторная работа «Поверка ультразвукового терапевтического аппарата «УЗТ–1.01 Ф» и исследование его характеристик» 33
3.1 Операции, средства, условия поверки и исследований ультразвукового аппарата 33
3.2 Рабочее место для проведения поверки и исследований ультразвукового аппарата 34
3.3 Порядок выполнения лабораторной работы 36
3.3.1 Внешний осмотр и проверка работоспособности ультразвукового аппарата 36
3.3.2 Определение отклонения частоты высокочастотных колебаний от номинального значения 37
3.3.3 Определение отклонения частоты следования импульсов от номинального значения 38
3.3.4 Определение погрешности установки длительности импульсов 39
3.3.5 Проверка соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения 41
3.3.6 Проверка соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения при изменениях напряжения питающей сети 42
3.3.7 Проверка соответствия интенсивности УЗ излучения установленному значению 43
3.4 Обработка результатов экспериментальных исследований и правила оформления отчета 45
Вопросы и задания для самопроверки 46
Список рекомендованной литературы 47

ВВЕДЕНИЕ

Изучением ультразвука занимается раздел физики, который называется акустикой. Последняя исследует распространение механических колебаний в различных средах. При оценке колебаний используют величину, характеризующую частоту колебаний в 1 с - Герц (Гц). Понятие «ультразвук» относится к волновому механическому колебательному процессу частотой от $2 \cdot 10^4$ до 10^9 - 10^{10} Гц. В случаях, когда частота колебаний превышает указанную и достигает 10^{13} Гц, говорят о гиперзвуке. Указанные колебания не воспринимаются слуховым аппаратом человека. В то же время в природе ультразвук является распространенным средством общения среди животных и насекомых.

Ультразвук широко применяется в разных областях науки, техники и медицины.

В силу высокого градиента звукового давления – $(10–150) \cdot 10^5$ Па/см – и значительных сдвиговых напряжений в биологических тканях ($\approx 1{,}5 \cdot 10^{-8}$ м) упругие колебания ультразвукового диапазона изменяют проводимость ионных каналов мембран различных клеток и вызывают микропотоки метаболитов в цитозоле и органоидах (микромассаж тканей). Активация мембранных энзимов и деполимеризация гиалуроновой кислоты способствуют уменьшению и рассасыванию отеков, снижению компрессии ноцицепторных нервных проводников в зоне воздействия.

Ускоренное ультразвуком перемещение биологических молекул в клетках увеличивает вероятность их участия в метаболических процессах. Этому же способствуют разрыв слабых межмолекулярных связей, уменьшение вязкости цитозоля (тиксотропия), переход ионов и биологически активных соединений в свободное состояние. В последующем за счет повышения связывания биологически активных веществ активируются механизмы неспецифической иммунологической резистентности организма.

Происходящее под действием ультразвуковых колебаний повышение энзиматической активности лизосомальных ферментов клеток приводит к очищению воспалительного очага от клеточного детрита и патогенной микрофлоры в пролиферативную стадию воспаления. Усиление метаболизма клеток стимулирует репаративную регенерацию тканей, ускоряет заживление ран и трофических язв. Образующиеся под действием ультразвуковых колебаний рубцы соединительной ткани обладают повышенной (в 2 и более раз) прочностью и эластичностью по сравнению с неозвученной тканью. Перечисленные феномены определяют нетепловое (специфическое) действие ультразвука.

1 ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ЛЕЧЕБНЫХ ЦЕЛЯХ

1.1 Ультразвук в медицине

Ультразвуком (УЗ) называют механические колебания и волны, частоты которых более $2 \cdot 10^4$ Гц. Верхним пределом ультразвуковых частот условно можно считать 10^9–10^{10} Гц. Этот предел определяется межмолекулярными расстояниями и поэтому зависит от агрегатного состояния вещества, в котором распространяется ультразвуковая волна.

Применение УЗ в медицине связано с особенностями его распространения и характерными свойствами.

По физической природе УЗ, как и звук, является механической (упругой) волной. Однако, длина волны УЗ существенно меньше длины звуковой волны. Так, например, в воде длины волн равны 1,4 м (1 кГц, звук), 1,4 мм (1 МГц, УЗ) и 1,4 мкм (1 ГГц, УЗ). Дифракция волн существенно зависит от соотношения длины волн и размеров тел, на которых волна дифрагирует. «Непрозрачное» тело размером 1 м не будет препятствием для звуковой волны с длиной 1,4 м, но станет преградой для УЗ-волны с длиной 1,4 мм, в результате чего возникнет «УЗ-тень». Это позволяет в некоторых случаях не учитывать дифракцию УЗ-волн, рассматривая при преломлении и отражении эти волны как лучи (аналогично преломлению и отражению световых лучей).

Отражение УЗ на границе двух сред зависит от соотношения их волновых сопротивлений. Так, УЗ хорошо отражается на границах мышца–надкостница–кость, на поверхности полых органов и т. д. Поэтому можно определить расположение и размер неоднородных включений, полостей, внутренних органов и т. п. (УЗ-локация). При УЗ-локации используют как непрерывное, так и импульсное излучения. В первом случае исследуется стоячая волна, возникающая при интерференции падающей и отраженной волн от границы раздела. Во втором случае наблюдают отраженный импульс и измеряют время распространения ультразвука до исследуемого объекта и обратно. Зная скорость распространения ультразвука, определяют глубину залегания объекта.

Волновое сопротивление биологических сред в 3000 раз больше волнового сопротивления воздуха. Поэтому, если УЗ-излучатель приложить к телу человека, то УЗ не проникнет внутрь, а будет отражаться из-за тонкого слоя воздуха между излучателем и биологическим объектом. Чтобы исключить воздушный слой, поверхность УЗ-излучателя покрывают слоем масла.

Скорость распространения ультразвуковых волн и их поглощение существенно зависят от состояния среды; на этом основано использование ультразвука для изучения молекулярных свойств вещества. Исследования такого рода являются предметом молекулярной акустики.

Интенсивность волны пропорциональна квадрату круговой частоты, поэтому можно получить УЗ значительной интенсивности даже при сравнительно небольшой амплитуде колебаний. Ускорение частиц, колеблющихся в УЗ-волне, также может быть большим, что говорит о наличии существенных сил, действующих на частицы в биологических тканях при облучении УЗ.

Сжатия и разрежения, создаваемые ультразвуком, приводят к образованию разрывов сплошности жидкости – *кавитаций*.

Кавитации существуют недолго и быстро захлопываются, при этом в небольших объемах выделяется значительная энергия, происходит разогревание вещества, а также ионизация и диссоциация молекул.

Физические процессы, обусловленные воздействием УЗ, вызывают в биологических объектах следующие основные эффекты:

- микровибрации на клеточном и субклеточном уровне;
- разрушение биомакромолекул;
- перестройку и повреждение биологических мембран, изменение проницаемости мембран;
- тепловое действие;
- разрушение клеток и микроорганизмов.

Медико-биологические приложения ультразвука можно, в основном, разделить на два направления: методы воздействия и методы диагностики.

К *первому направлению* относится *ультразвуковая физиотерапия*. Воздействие ультразвуком на пациента производят с помощью специальной излучательной головки аппарата. Обычно для терапевтических целей применяют ультразвук частотой от $2{,}2\cdot10^4$ до$3\cdot10^6$ Гц при средней его интенсивности около 1 Вт/см^2 и меньше.

Первичным механизмом ультразвуковой терапии являются механическое и тепловое действия на ткань.

При операциях ультразвук применяют как «ультразвуковой скальпель», способный рассекать мягкие и костные ткани.

Способность ультразвука дробить тела, помещенные в жидкость, и создавать эмульсии используется в фармацевтической промышленности при изготовлении лекарств. При лечении таких заболеваний, как туберкулез, бронхиальная астма, катар верхних дыхательных путей, применяют аэрозоли различных лекарственных веществ, полученные с помощью уль-

тразвука.

В настоящее время разработан новый метод «сваривания» поврежденных или трансплантируемых костных тканей с помощью ультразвука (*ультразвуковой остеосинтез*).

Губительное воздействие ультразвука на микроорганизмы используется для стерилизации.

Ко *второму направлению* относятся локационные методы с использованием, главным образом, импульсного излучения. Это *эхоэнцефалография* – определение опухолей и отека головного мозга; *ультразвуковая кардиография* – измерение размеров сердца в динамике; в офтальмологии – *ультразвуковая локация* для определения размеров глазных сред. С помощью ультразвукового эффекта Доплера изучают характер движения сердечных клапанов и измеряют скорость кровотока. С диагностической целью по скорости ультразвука находят плотность сросшейся или поврежденной кости.

Находит применение ультразвук и для слепых. Благодаря ультразвуковой локации с помощью портативного прибора «Ориентир» можно обнаружить предметы и определить их характер на расстоянии до 10 м.

Перечисленные примеры не исчерпывают всех медико-биологических применений ультразвука, перспектива расширения этих приложений поистине огромна. Так, можно ожидать, например, появления принципиально новых методов диагностики с внедрением в медицину ультразвуковой голографии.

1.2 Ультразвуковые волны

Ультразвуковые волны являются акустическими и как волны любой физической природы, например электромагнитные, характеризуются рядом физических величин (параметров), изменяющихся в пространстве и во времени. Для акустических волн основными переменными являются колебательное смещение частиц упругой среды и давление.

В ультразвуковой диагностике используются так называемые продольные акустические волны, в которых направление смещения отдельных частиц среды параллельно направлению распространения волн. На рис. 1.1,а схематически изображены продольные волны в упругой среде в виде периодического чередования зон сжатия и разрежения. Возникновение этих зон легко объяснить, если предположить, что их причиной является колеблющаяся плоская пластина. В момент времени, которому соответствует картина на рис. 1.1,а, пластина двигается влево, создавая раз-

режение в прилежащей к ней зоне. Через некоторое время та же пластина начинает двигаться вправо, создавая зону сжатия возле своей поверхности. К этому времени зона разрежения смещается вправо в соответствии со свойствами упругой среды. Скорость перемещения зоны разрежения (или сжатия) в среде называется скоростью звука и обозначается буквой С. Направлена эта скорость от источника возникновения волн (в данном случае, колеблющейся пластины).

Скорость звука не следует путать со скоростью смещения частиц упругой среды - это совершенно разные скорости. Более того, скорость звука в данной среде есть величина постоянная во времени, а скорость смещения частицы периодически меняется в процессе колебания частицы вокруг равновесного состояния.

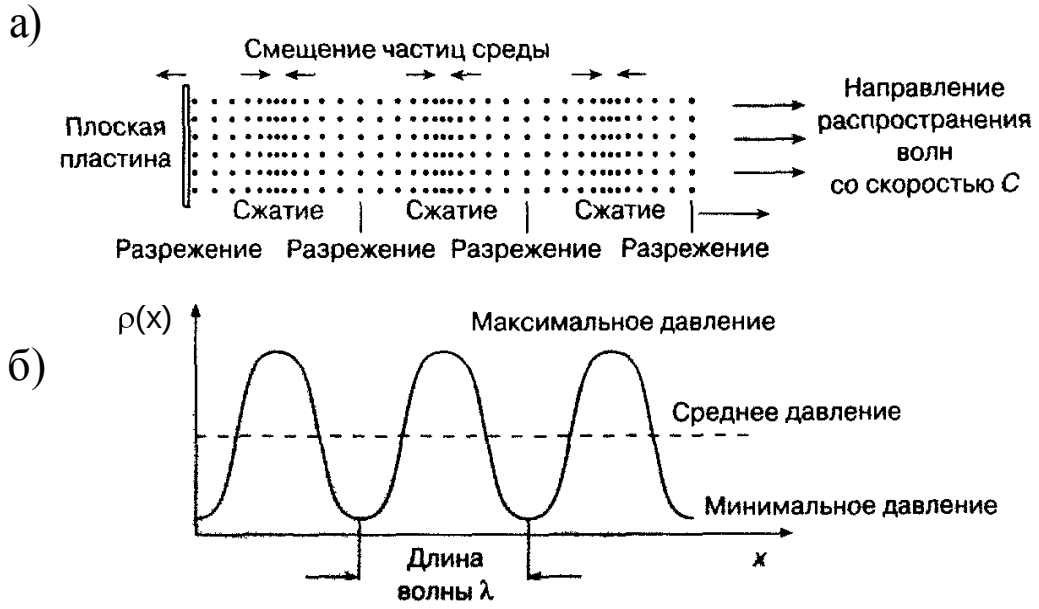


Рисунок 1.1 – Продольные акустические волны в упругой среде в фиксированный момент времени

Степень сжатия или разрежения характеризуется давлением, график изменения которого вдоль оси x изображен на рис. 1.1,б для того же момента времени, что на рис. 1.1,а. В случае, если имеют место гармонические волны изменение давления в пространстве вдоль оси x происходит по закону синуса (или косинуса). Расстояние между точками графика давления, имеющими одинаковые фазы, т.е. одинаковое значение и направление изменения давления, называется длиной волны λ. На рис. 1.1,б показана величина длины волны λ как расстояние между минимальными значениями давления.

Картина, изображенная на рис. 1.1, относится к некоторому фикси-

рованному моменту времени. Если же взять какую-то конкретную точку в области распространения волн и рассмотреть, как будет в ней меняться давление со временем, то мы получим график, показанный на рис. 1.2. В случае гармонических колебаний изменение давления во времени будет синусоидальным с периодом колебаний, равным T.

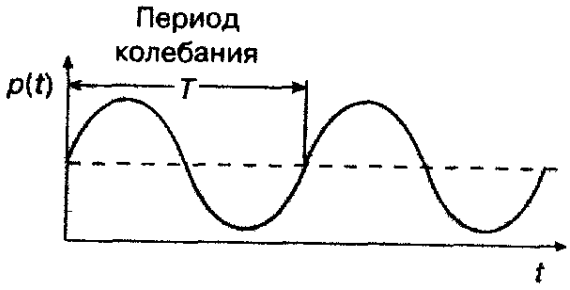


Рисунок 1.2 – Изменение давления ρ в зависимости от времени в фиксированной точке пространства

Частота колебаний f, равная 1/T, определяет число периодов колебаний в секунду и измеряется в герцах (Гц).

На рис. 1.1,а схематически изображены так называемые плоские продольные волны, т.е. такие, у которых точки с одинаковыми фазами колебаний находятся на плоской поверхности. Плоские волны являются следствием возбуждения их с помощью плоского источника звука, в данном случае плоской колеблющейся пластины. Поверхность с одинаковой фазой колебаний называется фронтом волны. Плоские волны имеют плоский фронт волны (рис. 1.3,а).

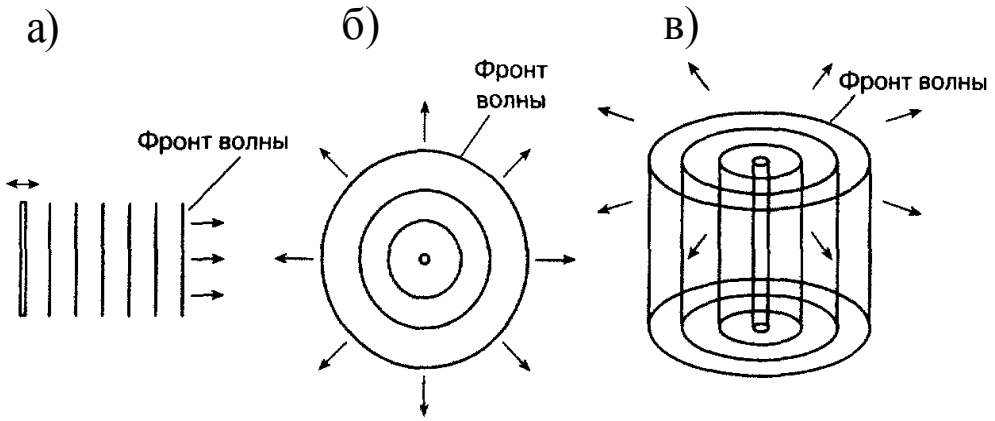


Рисунок 1.3 – Различные виды акустических волн. Стрелками показаны направления распространения волн

Кроме плоских волн могут быть сферические волны, возбуждаемые точечным или сферическим источником (рис. 1.3,б). Фронт волны в этом

случае имеет сферическую форму. Иногда имеют место цилиндрические волны, фронт которых имеет вид цилиндрической поверхности (рис.1.3,в).

В чистом виде плоские, сферические или цилиндрические волны встречаются редко, обычно на практике имеет место комбинация различных типов волн, которая только в малых областях пространства может быть близка к одному из перечисленных типов волн.

1.3 Физиологическое действие ультразвука

В основе физиологического действия ультразвука лежат три основных фактора: механический, физико-химический и тепловой.

Механическое действие УЗ обусловлено переменным акустическим давлением и заключается в вибрационном микромассаже тканей на клеточном и субклеточном уровнях, повышении проницаемости клеточных, внутриклеточных и тканевых мембран, вследствие деполимеризующего действия на гиалуроновую кислоту и др.

Физико-химическое действие УЗ определяется тем, что применение механической энергии вызывает в тканях организма механический резонанс, под влиянием которого ускоряется движение молекул и усиливается их распад на ионы, изменяется изоэлектрическое состояние, образуются новые электрические поля, наступают электрические изменения в клетках. Изменяются структура волны и состояние гидратных оболочек, появляются свободные радикалы и различные продукты сонолиза биологических растворителей, возникают электронные возбужденные состояния, изменяются процессы перекисного окисления липидов. Наблюдается слабое свечение воды и некоторых других жидкостей в ультразвуковом поле. Наступает местная стимуляция физико-химических и биохимических процессов в тканях, активизация обмена веществ. Это, в частности, выражается в изменении в окислительном фосфорилировании митохондрий печени, почек, повышении интенсивности тканевого дыхания, изменении процессов гликолиза и активности пентозо-фосфатного пути обмена углеводов, оживлении обмена белков и нуклеотидов, усилении процессов диффузии через биологические мембраны, повышении митотической активности клеток, усилении крово- и лимфообращения. Ультразвук можно рассматривать как физический катализатор физико-химических, биофизических и биохимических процессов в организме.

Тепловое действие при небольших интенсивностях УЗ выражено незначительно, оно возникает в результате трансформации механической

энергии в тепловую. Тепло накапливается, главным образом, на границах различных сред вследствие разницы их акустического сопротивления, а также в тканях, больше всего поглощающих ультразвуковую энергию (нервная, костная), и в местах с недостаточным кровоснабжением, ибо кровь отводит тепло. Поэтому в этих местах возможен перегрев.

Действие всех трех факторов (физико-химического, механического и теплового) тесно связано и часто переплетается. Под влиянием ультразвука возникают внутриклеточные микропотоки (вращательные движения цитоплазмы), способствующие стимуляции функции клеточных элементов и клетки в целом. Возникающие под влиянием ультразвуковой энергии микроальтеративные повреждения клеточных структур, в частности липопротеидных мембран лизосом, ведут к нарушению гомеостаза внутриклеточной среды и активизируют механизмы защитных реакций, внутриклеточную регенерацию и т. п., что также имеет значение в механизме действия ультразвука.

Определенную роль в формировании реакции организма на ультразвуковое воздействие, по-видимому, играют простагландины группы Е, образующиеся в озвученных тканях.

Физиологическое и терапевтическое действие УЗ зависит от дозы, количества воздействий и состояния организма. В терапевтических дозах УЗ изменяет проницаемость мембран, усиливает процессы диффузии и осмоса, повышает активность ионов, гормонов и других биологически активных веществ, в результате перехода их в свободное состояние, активизирует ферментативную деятельность, усиливает обмен веществ.

При воздействии УЗ на кожу повышается ее проницаемость, усиливается экскреторная активность кожи – увеличивается количество функционирующих сальных и потовых желез, возрастает экскреция липидов и хлоридов, изменяются окислительно-восстановительные процессы, снижается pH кожи (при повышении pH внутренних тканей), увеличивается интенсивность обменных процессов, повышается содержание нуклеиновых кислот, стимулируются процессы тканевого дыхания и физиологической регенерации, повышается барьерно-защитная функция кожи. Сегментарное воздействие УЗ изменяет сопротивление кожи постоянному электрическому току (импеданс), что является объективным критерием нейрорефлекторного действия ультразвука на организм. Чувствительность кожи различных областей тела к УЗ неодинакова. Так, более чувствительна кожа лица, затем живота, гораздо менее чувствительна кожа конечностей.

Ультразвуковая терапия повышает физиологическую лабильность нервных центров и периферических нервно-мышечных образований,

устраняя парабиотические очаги, повышая адаптационно-трофические функции организма, причем в формировании реакции организма участвуют высшие вегетативные центры, гипоталамо-гипофизарная область, ретикулярная формация и лимбическая система. Отмечено влияние ультразвука на проводимость двигательных аксонов. Так, воздействие интенсивностью 0,5 Вт/см^2 увеличивает скорость двигательной проводимости локтевого нерва, в то время как применение более высокой интенсивности (1 Вт/см^2 и выше) уменьшает скорость проводимости и биоэлектрические потенциалы мышц.

УЗ оказывает активизирующее, нормализующее действие на гипофиз-надпочечниковую, симпато-адреналовую системы, на функцию щитовидной и половых желез, нормализует обмен катехоламинов. Причем под влиянием УЗ активизируется не только трансгипофизарный, но и парагипофизарный путь нейроэндокринной регуляции.

На сердечно-сосудистую систему УЗ оказывает сосудорасширяющее действие, нормализует тонус сосудов, улучшает местное кровообращение, микроциркуляцию, усиливая крово- и лимфоток, раскрывая резервы капилляров, уменьшая их спазм и венозный застой.

Под влиянием УЗ нормализуется функция внешнего дыхания, повышается усвоение тканями кислорода, улучшается моторная, эвакуаторная, всасывательная функция желудка и кишок, снимаются спазмы бронхов, кишок, желчевыводящих путей, повышается диурез.

Ультразвуковая терапия оказывает выраженное противовоспалительное, спазмолитическое, фибролитическое, рассасывающее, болеутоляющее, трофическое и гипосенсибилизирующее действие, стимулирует регенераторные процессы. Под ее влиянием увеличивается содержание эндогенного серотонина, что оказывает защитное действие при воспалительных, аллергических и радиоактивных поражениях тканей.

Ультразвуковое воздействие повышает активность тканевых базофилов, увеличивает толерантность плазмы крови к гепарину, усиливает потребление протромбина и фибриногена, повышает фибринолитическую активность крови, нормализует содержание в крови свободного гепарина, влияет на плазмоцитарную реакцию лимфоидной ткани, способствуя таким образом ликвидации сосудисто-трофической недостаточности.

УЗ ускоряет репаративные процессы в нервах, костях, мышцах, способствует рассасыванию спаек, рубцов, что связано с активизацией внутриклеточных процессов биосинтеза белка и ферментативных реакций.

Под влиянием УЗ улучшается биоэлектрическая активность тканей, повышается фагоцитарная функция лейкоцитов, активизируются механиз-

мы неспецифической иммунологической реактивности организма за счет повышения связывания гистамина белками крови и расщепления его гистаминазой.

УЗ обладает бактерицидным действием, в первую очередь повреждая клеточные оболочки микроорганизмов. При этом чувствительность различных бактерий различная; наиболее чувствительны лептоспиры, наиболее устойчивы стафилококки. Вирусы также погибают под воздействием ультразвука.

Большие (нетерапевтические) дозы, большая интенсивность УЗ вызывают патологические деструктивные изменения в организме. Так, многократные воздействия ультразвуком могут привести к повреждению миелиновой оболочки аксона; более интенсивные дозы ультразвука (2,0; 2,5; 2,8 Вт/см^2) часто вызывают необратимые изменения структуры нервной ткани, костного мозга.

При больших интенсивностях УЗ наблюдается эмульгирующее, диспергирующее, тиксотропное действие (переход геля в золь), влияние на биомакромолекулярные комплексы и их частичное расщепление.

1.4 Параметры ультразвука и ультразвуковые аппараты, применяемые в медицине

В лечебной практике используют непрерывные ультразвуковые механические колебания частотой 22—44 кГц, 880 кГц и 2640 кГц. Для импульсной терапии применяют серии низкочастотных импульсов с частотами заполнения 1 и 3 МГц, длительностью 0,5—10 мс и частотой следования импульсов 16–100 имп/с. Импульсные режимы используют для достижения нетепловых эффектов. Соотношение нетеплового и теплового компонентов лечебного действия ультразвуковых колебаний определяется по интенсивности или режиму (непрерывному или импульсному) воздействия. Интенсивность генерируемых ультразвуковых колебаний в непрерывном режиме составляет 0,05-2 Вт/см^2, в импульсном – 0,1 - 2 Вт/см^2. Эффективная площадь воздействия колеблется от 0,7 до 5,4 см^2.

В последние двадцать лет в лечебной практике получили распространение несколько видов ультразвуковых терапевтических аппаратов: стационарные - УТС-1 и УТС-1М (частота 880 кГц); портативные УТП 1, УЗ-Т5, УЗТ-101, УЗТ-104, ЛОР-1А, ЛОР-3 с частотой 880 кГц и УТП-3М (2640-2950 кГц), УЗТ-31 (2640 кГц). В настоящее время для проведения лечебного воздействия используют аппараты УЗТ. Первая из следующих за этой аббревиатурой цифра указывает на округленную частоту генерируемых колебаний (1 МГц ≅ 880

а)

б)

в)

а - «Узор-Дентал-2»; б - «Узор-04»; в - «Узор-05»

Рисунок 1.4 – Ультразвуковые аппараты

кГц, 3 МГц ≅ 2640 кГц), а последняя буква - область применения (Ф – терапевтический, С – стоматологический, У – урологический, Л – отоларингологический, Г – гинекологический). Кроме них, используют аппараты импульсной ультразвуковой терапии Sonostat, Sonopuls, Nemectroson, Sonotur, ECO, ECOSCAN, US-3, US-7P.

Аппараты УЗТ-13 Гамма с различными индексами (по областям применения) генерируют ультразвуковые колебания обеих частот, как и аппарат для ультразвукового озвучивания крови Надежда-100. В лечебной практике используют также аппараты низкочастотного ультразвука УЗНТ-22/44 Барвинок Г, Гинетон-1, Гинетон-2 (гинекологический), Барвинок У (урологический), Проктон-1 (проктологический), а также Тонзиллор (отоларингологический) и Соматрон-1 (стоматологический).

Харьковским государственным производственным объединением «Монолит» выпускаются следующие ультразвуковые аппараты: стоматологический – «Узор-Дентал-2», (частота 30 ± 5 кГц); хирургический – «Узор-04» (частота 22 ± 5 кГц); для лор-хирургии «Узор-05» (частота 30 ± 5 кГц); для микрохирургии глаза – «Узор-07» (частота 44 или 30 кГц) (Рис. 1.4).

1.5 Излучатели ультразвука

В общем случае аппарат для лечения ультразвуком состоит из генератора электрических колебаний, к колебательному контуру которого подключен пьезоэлектрический преобразователь. Преобразователь выносится в отдельную головку (излучатель), соединенную кабелем с аппаратом.

Наибольшее распространение получили электромеханические преобразователи, основанные на явлении *обратного пьезоэлектрического эффекта*. Обратный пьезоэффект заключается в механической деформации тел под действием электрического поля. Основной частью такого преобразователя (рис. 1.5) является пластина или стержень 1 из вещества с хорошо выраженными пьезоэлектрическими свойствами (кварц, сегнетова соль, керамический материал на основе титаната бария и др.). На поверхность пластины в виде проводящих слоев (как правило, серебро) нанесены электроды 2, а к ним припаиваются проводники – токопроводы. Если к электродам приложить переменное электрическое напряжение от генератора 3, то пластина благодаря обратному пьезоэффекту начнет вибрировать, излучая механическую волну соответствующей частоты.

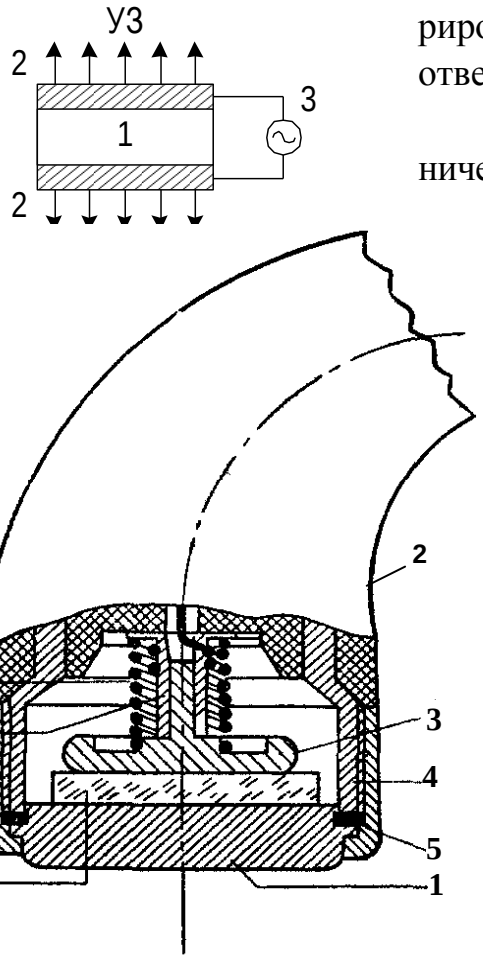


Рисунок 1.6 – Схема головки аппарата для ультразвуковой терапии

Наибольший эффект излучения механической волны возникает при выполнении условия резонанса. Так, для пластин толщиной 1мм резонанс возникает для сегнетовой соли на частоте 1,5 МГц, титаната бария – 2,75 МГц и кварца – 2,87МГц.

Несмотря на многообразие УЗ преобразователей, в большинство из них входят одни и те же компоненты. Головка, схематически показанная в разрезе на рис. 1.6, состоит из цилиндрического металлического корпуса 4, на основании 1 которого расположен пьезоэлектрический преобразователь-пластина 6. Пластина удерживается с помощью держателя 3 и пружины 7. Под держателем всегда имеется тонкая прослойка воздуха, поэтому в сторону ручки ультразвук

не излучается. Амплитуда колебаний пластины, а, следовательно, интенсивность ультразвуковой волны, распространяющейся от передней поверхности преобразователя, будут максимальны при совпадении собственной резонансной частоты пластинки с частотой генератора. Это условие выполняется, если толщина пластинки равна нечетному числу полуволн (при частоте 880 кГц толщина кварцевой пластинки, равная одной полуволне, составляет около 3,26 мм).

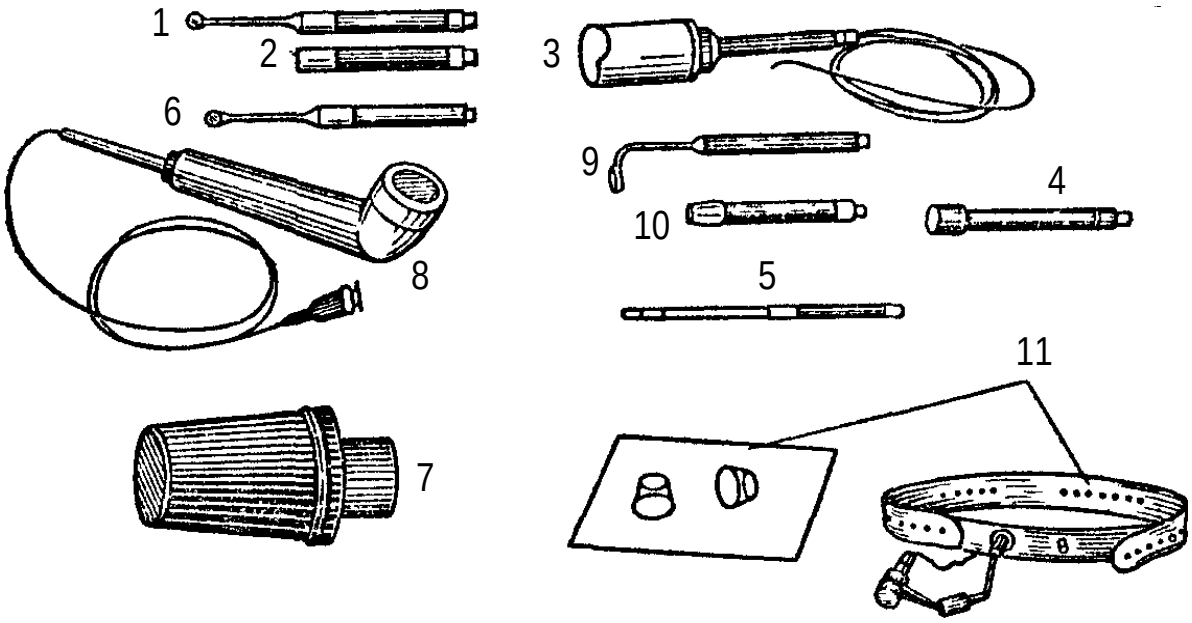
Основание 1 крепится к корпусу головки с помощью накидной гайки 5. Для того, чтобы ультразвуковая волна проходила через основание (резонатор) без ослабления, толщина его должна составлять целое число полуволн (обычно, одну или две).

Корпус головки укреплен в ручке 2, с помощью которой ее держат во время процедуры. Внутри ручки проходит питающий провод от генератора. Провод через втулку 8 соединен с держателем 3, который имеет электрический контакт с преобразователем. Вторым электродом служит корпус головки, к которому присоединяется экранирующая оплетка питающего кабеля.

В последние годы в ультразвуковых терапевтических аппаратах широкое применение получили пьезопреобразователи из керамики титаната бария. Керамика титаната бария представляет собой спеченные при высокой температуре мелкие кристаллы, т. е. имеет поликристаллическую структуру. Преимуществом ее по сравнению с кварцем является дешевизна и меньшая величина напряжения, необходимая для возбуждения ультразвуковых колебаний (напряжение на кварцевой пластинке при частоте 880 кГц и интенсивности 2 Вт/см^2 превышает 1500 В, напряжение же на пластинке из керамики титаната бария при той же интенсивности не более 100 В). Это позволяет упростить конструкцию и схему аппарата, в частности, применить для питания головки гибкий низковольтный кабель.

Как правило, к ультразвуковому аппарату придается набор излучателей. Некоторые виды таких излучателей показаны на рис. 1.7.

Излучатели обозначаются шифром ИУТ-0,88-1-3, ИУТ-0,88-4-4 и т. д., который расшифровывается как «излучатель ультразвуковой терапевтический». Цифры шифра указывают частоту ультразвуковых колебаний, площадь головки излучателя, номер клавиши на аппарате для его включения. Малый габарит и конструктивные особенности излучателей позволяют использовать их не только для наружного, но и для внутриполостных воздействий (урология, гинекология, стоматология, офтальмология и др.).



1 – ИУТ-0,88 -0,5-10; 2 – ИУТ-0,88-1-3; 3 – ИУТ-0,88-2-7; 4 – ИУТ-2,64-2-2; 5 – ИУТ-0,88-4-8; 6 – ИУТ-0,88-1-5; 7 – ИУТ-0,88-1-9; 8 – ИУТ-0,88-4-4; 9 – ИУТ-0,88-1-6;10 – ИУТ-2,64-0,5-1; 11 – бленда-векорасширитель и оголовье с шарнирным устройством к аппарату УЗТ-04

Рисунок 1.7 - Излучатели ультразвуковых терапевтических аппаратов

1.6 Дозирование лечебных воздействий, показания и противопоказания к применению ультразвука

Дозирование лечебных воздействий УЗ осуществляется по плотности потока энергии (интенсивности). При этом различают малые (0,05 – 0,4 Вт/см^2), средние (0,4 – 0,8 Вт/см^2) и большие (0,9 – 1,2 Вт/см^2) терапевтические дозы ультразвука. В настоящее время с лечебной целью применяют дозы малой и средней интенсивности (от 0,05 до 0,8 Вт/см^2) и очень редко большой. Максимальная продолжительность озвучивания – 15 мин.

Показания к ультразвуковой терапии: заболевания внутренних органов (хронический бронхит, астматический бронхит, хроническая пневмония, бронхиальная астма, начальные формы пневмокониоза, язвенная болезнь желудка и двенадцатиперстной кишки в неосложненной форме, хронический колит, хронический холецистит, дискинезия желчных путей, хронический пиелонефрит, панкреатит, облитерирующие заболевания сосудов конечностей); заболевания опорно-двигательного аппарата (дегенеративно-дистрофические и воспалительные заболевания суставов и позвоночного столба — деформирующий остеоартроз, межпозвонковый

остеохондроз, спондилез, ревматоидный артрит, анкилозирующий спондилоартрит, псориатический полиартрит, периартрит, бурсит, эпикондилит, контрактура Дюпюитрена и Лидерхоза, пяточные шпоры, травмы опорно-двигательного аппарата – поражение менисков, растяжение связок и т. п.); заболевания периферической нервной системы (радикулит, неврит, невралгия, миальгия, травмы периферических нервов).

Противопоказания: острые инфекционные заболевания, лихорадочное состояние, резко выраженный невроз, выраженный атеросклероз, ишемическая болезнь сердца (со стенокардией, нарушением ритма, аневризмой сердца), гипертоническая болезнь IIБ–III стадии, тромбофлебит, недостаточность кровообращения IIБ—III степени, сирингомиелия, болезни крови, склонность к кровотечению, беременность, кахексия.

Относительным противопоказанием являются новообразования. В настоящее время изучается вопрос о применении УЗ в лечении больных с новообразованиями. Исследования по этой проблеме ведутся в трех направлениях: применение ультразвука высокой интенсивности; применение ультразвука в сочетании с рентгенотерапией; применение ультрафонофореза цитостатиков.

Не рекомендуется воздействовать УЗ непосредственно на область сердца, головного мозга, на чувствительные ростковые зоны у детей, на выступающие костные поверхности (коленный сустав, остистые отростки позвонков и т. п.).

1.7 Порядок проведения процедур ультразвуковой терапии

Лечение УЗ назначают с обязательным указанием режима работы. Режим подачи ультразвуковой энергии в современных аппаратах может быть непрерывным или импульсным, когда поток энергии чередуется с паузами. Импульсные режимы различаются по длительности импульса и пауз. Чем короче импульс, тем больше пауза и тем мягче действие УЗ.

Обычно воздействия ультразвуком проводят на ограниченные части тела (поля). Площадь одного поля в среднем не более 150–250 см^2. При необходимости назначить УЗ на сравнительно большую поверхность (например, на паравертебральные зоны и область распространения болей при радикулите) всю площадь делят на отдельные поля. В течение одной процедуры можно подвергать воздействию 4 – 5, редко 6 полей.

Время воздействия ультразвуком на одно поле не должно превышать 5 – 10 мин при общей продолжительности процедуры не более 15 мин.

Воздействия производят через день или ежедневно. Общий курс лечения составляет 6 – 12 процедур, редко 15 – 20. Курсы ультразвуковой терапии повторяют с промежутками не менее 3 мес.

Различают воздействие УЗ местное – непосредственно на область патологического процесса (пораженный сустав) и сегментарное – на рефлексогенные зоны обычно паравертебрально в области соответствующих сегментов.

В связи с тем, что ультразвуковые колебания полностью отражаются даже от очень тонкого слоя воздуха, их подводят к телу больного через безвоздушные плотные среды – вазелиновое или другие виды масла, воду. Масло (предварительно слегка подогретое) тонким слоем наносят с помощью шпателя, пипетки или ватного тампона на кожную поверхность участка тела, подвергающегося воздействию. По окончании процедуры также ватным тампоном его снимают с поверхности излучателя и кожи с последующей обработкой этих поверхностей раствором 96% спирта.

Способ проведения ультразвуковой процедуры может быть *контактным* (когда через вазелиновое масло воздействуют непосредственно на кожу рис. 1.8, а,в) или *неконтактным* (через воду рис. 1.8, б,г).

При контактном способе пользуются *лабильной* (подвижной) методикой (рис 1.8, д). При этом излучающая поверхность излучателя плотно прилегает к коже. Передвижение его совершают медленными поглаживающими (массажирующими) круговыми движениями со скоростью 1 – 1,5 см в секунду. В случае необходимости произвести перемещение излучателя с одного поля на другое, требующее отрыва его от поверхности кожи, ручку переключателя интенсивности переводят в нулевое положение.

Реже при контактном способе применяют стабильную методику, когда излучатель фиксируют неподвижно на ограниченном участке (рис. 1.8, е).

Воздействие ультразвуком через воду применяют в тех случаях, когда невозможно использовать контактный способ, чаще это касается поражения конечностей (кисть, стопа). Воду температуры 32 – 36 °С наливают в фаянсовую или фарфоровую ванночку. Для уменьшения содержания в воде воздушных пузырьков применяют кипяченую воду или наполняют ванночку водопроводной водой.

В воду погружают конечность больного и ультразвуковой излучатель. Излучатель либо закрепляют на одной из стенок ванночки, и тогда больной сам производит перед ним вращательные движения конечностью, либо медицинская сестра перемещает излучатель вокруг фиксированной конечности. В этом случае для защиты от влияния ультразвуковых колебаний медицинская сестра надевает на руку (если рука погружается в воду)

хлопчатобумажную, а поверх нее резиновую перчатку. Расстояние излучателя от поверхности кожи должно составлять 1 – 2 см (неконтактный способ воздействия).

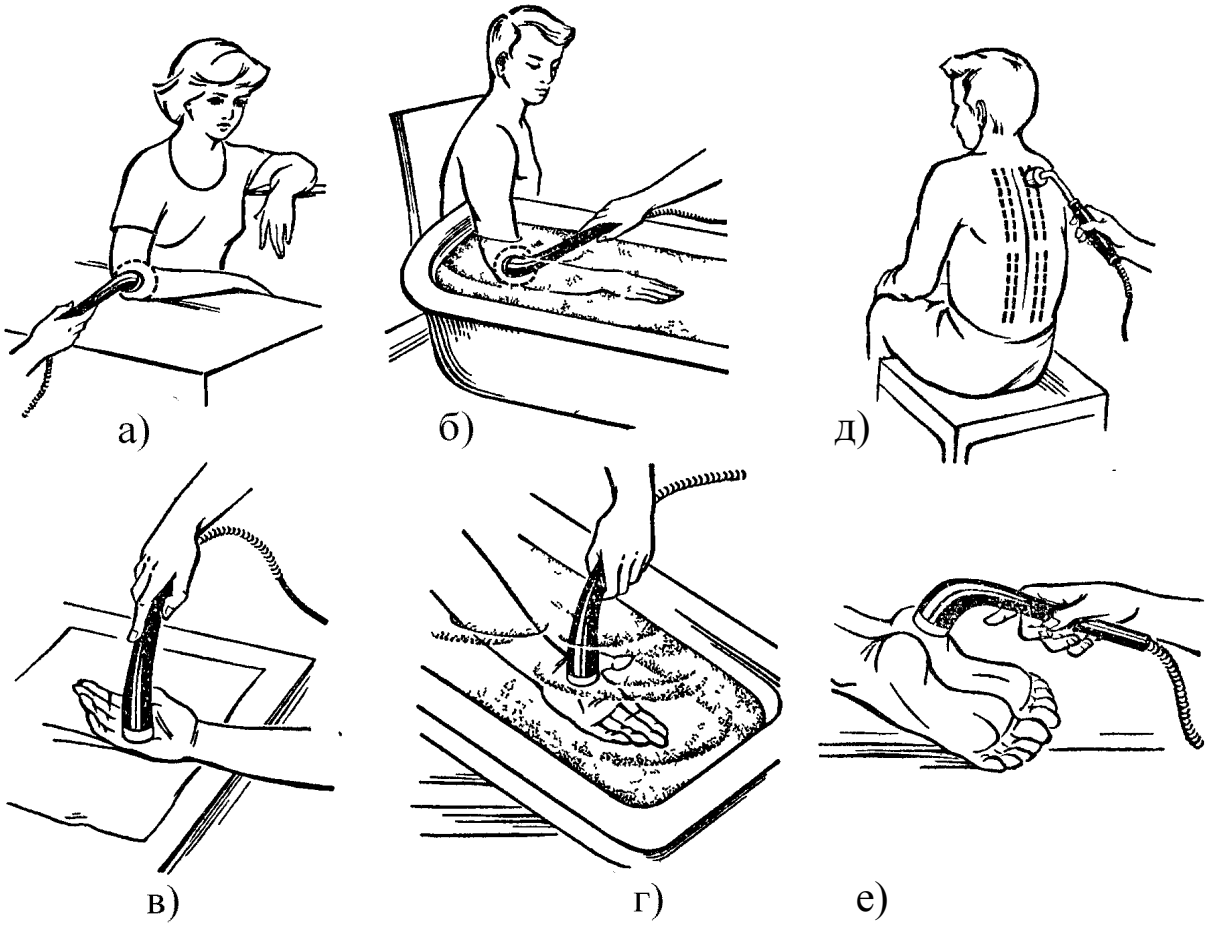


Рисунок 1.8 - Воздействие ультразвуком контактно и через воду

В практике ультразвуковой терапии применяются специальные частные способы воздействия, когда контактную среду (воду или масло) помещают в приспособления определенной формы (глазные ванночки, тубусы для методики фонофореза и др.).

В последние годы широкое распространение получил способ сочетанного воздействия ультразвука и лекарственных препаратов, получивший название ультрафонофореза, или фонофореза.

Все параметры ультразвукового воздействия устанавливает врач, и процедура выполняется в строгом соответствии с его указанием.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Что называется ультразвуком? Какие граничные значения частот он имеет?
2. Чем определяется отражение ультразвука от границы двух сред?
3. Какими основными параметрами характеризуются акустические волны? Какие формы могут иметь акустические волны?
4. Какие физические процессы происходят в биологических объектах под действием ультразвука?
5. На какие два направления могут быть разделены медико-биологические приложения ультразвука?
6. Какие факторы лежат в основе физиологического действия ультразвука?
7. Перечислите основные параметры ультразвуковых колебаний, применяемых в лечебной практике.
8. Какой эффект используется в терапевтических аппаратах для создания ультразвуковых колебаний? Приведите схематическое изображение ультразвукового излучателя.
9. По каким параметрам осуществляется дозирование лечебных воздействий ультразвуком? Каков диапазон их изменений?
10. Какие показания и противопоказания имеет ультразвуковая терапия?
11. Перечислите основные способы воздействия на пациента ультразвуком с лечебными целями.

2 АППАРАТ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕРАПИИ УЗТ-1.01 Ф

2.1 Назначение и основные технические данные ультразвукового аппарата

Аппарат предназначен для генерирования ультразвуковых колебаний в целях воздействия ими на разные участки тела человека при лечении заболеваний периферической нервной системы и опорно-двигательного аппарата в условиях медицинских учреждений.

Основные технические данные ультразвукового аппарата УЗТ-1.01 Ф приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические данные ультразвукового аппарата УЗТ-1.01 Ф

Показатели	Единица измерения	Значение
1	2	3
Номинальное значение частоты ультразвуковых колебаний	МГц	0,88
Отклонение частоты ультразвуковых колебаний	%	± 0,03
Интенсивность ультразвуковых колебаний регулируется ступенчато в пять ступеней	Вт/см^2	1,0; 0,7; 0,4; 0,2; 0,05
Интенсивность ультразвуковых колебаний обеспечивается при подаче на излучатель типа ИУТ 0,88-4,04 Ф переменного напряжения	В	20,6; 17,2; 13,0; 9,2; 4,6
Отклонение интенсивности излучения от установленного значения не более: • при 1,0 Вт/см^2 • при 0,7 Вт/см^2 • при 0,4 Вт/см^2 • при 0,2 Вт/см^2 • при 0,05 Вт/см^2	 % % % % %	 ± 45 ± 50 ± 50 ± 50 ± 50
Эффективная площадь излучателя типа ИУТ 0,88-4,04 Ф	см^2	4
Аппарат работает в непрерывном и импульсном режимах. В импульсном режиме длительность импульсов устанавливается дискретно	мс	2; 4; 10
Отклонение длительности импульсов от установленного значения на превышает	%	± 20%
Частота следования импульсов	Гц	50 ± 0,5
Длительность фронта и среза от общей длительности импульса составляет не более	%	20
Неравномерность вершины импульса, не более	%	20
Время установления рабочего режима аппарата после включения, не более	с	30

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3
Напряжение питающей сети с частотой 50 ± 0,5 Гц	В	220 ± 22
Мощность, потребляемая аппаратом из сети, не более	ВА	50
Аппарат обеспечивает работу в повторно-кратковременных режимах: • 15 мин в непрерывном режиме излучения при интенсивности 1,0 Вт/см^2; • 10 мин перерыв при отключении аппарата от питающей сети; не менее	час	6
Условие для нормальной работы аппарата: • температура окружающей среды • относительная влажность при температуре + 25 °С, не более	 °С %	 +10 – +35 80
Установленная безотказная наработка, не менее	Цикл*	5000
Средняя наработка на отказ, не менее	Цикл*	10000
Полный установленный срок службы аппарата, не менее	год	3,5
Полный средний срок службы аппарата, не менее	год	7,0
Габаритные размеры электронного блока аппарата, не менее	мм	341×290×142
Масса электронного блока аппарата, не более	кг	7

*За цикл принимается последовательность операций, которые необходимо выполнять при подготовке аппарата к проведению процедуры и при ее отсутствии.

Аппарат УЗТ-1.01 Ф по защите от поражения электрическим током выполнен по классу защиты I, тип защиты В.

2.2 Конструкция ультразвукового аппарата

Аппарат содержит электронный блок и два сменных излучателя. Электронный блок снабжен ручкой для переноски, которая одновременно служит для установки его в рабочее положение. Корпус электронного блока выполнен из алюминиевого сплава. Внутри корпуса установлены направляющие, по которым перемещается шасси. Крепление шасси осуществляется снизу корпуса с помощью четырех винтов.

Общий вид ультразвукового аппарата УЗТ-1.01 Ф показан на рисунке 2.1. На лицевой панели расположены органы управления, элементы индикации и разъемы:

- 1 разъем «ВЫХОД» для подключения кабеля излучателя;

- 2 световой индикатор выходного напряжения аппарата;
- 3 световой индикатор «СЕТЬ» включения аппарата;
- 4 кнопка «СЕТЬ»;
- 5 переключатель «ИЗЛУЧАТЕЛИ»;
- 6 переключатель «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2»;
- 7 переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ»;
- 8 процедурные часы, осуществляющие включение аппарата в сеть и установку времени процедуры.

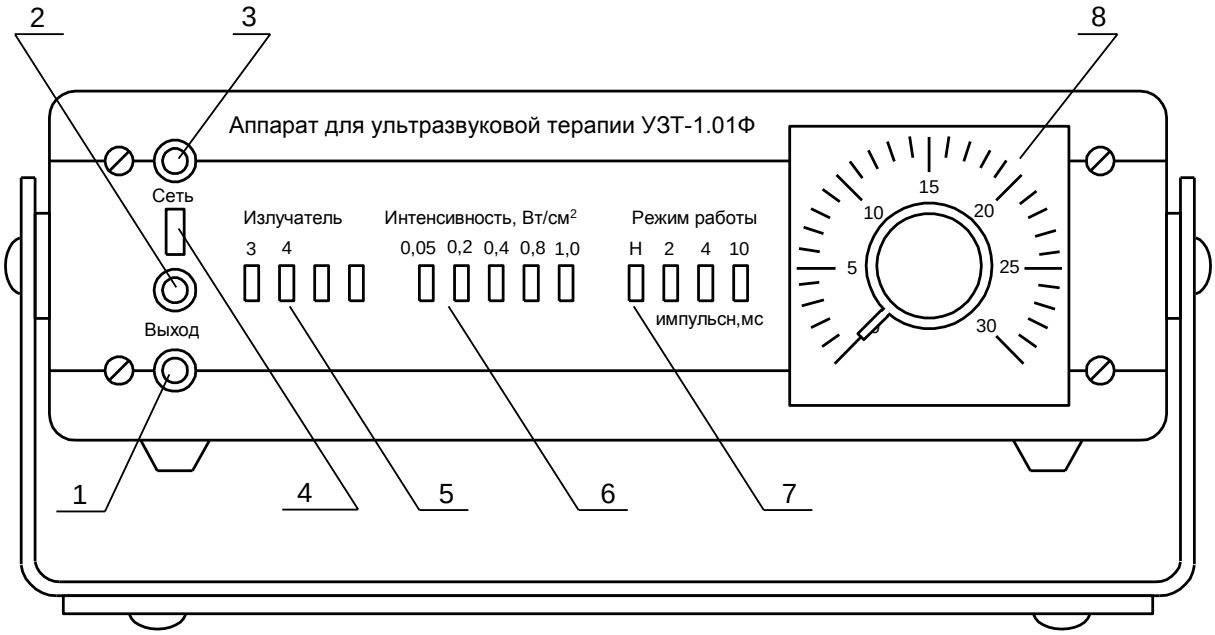


Рисунок 2.1 – Общий вид аппарата УЗТ-1.01 Ф

На задней стенке электронного блока установлены ножки, служащие для предохранения провода сети от изгиба и крепления его и сетевой вилки во время транспортирования аппарата.

2.3 Принцип действия ультразвукового аппарата

Функциональная схема электронного блока ультразвукового аппарата приведена на рисунке 2.2. Электронный блок предназначен для получения напряжения возбуждения ультразвукового излучателя в непрерывном и импульсном режимах работы.

В непрерывном режиме напряжение возбуждения представляет собой гармонические колебания с частотой 0,88 МГц, в импульсном – последовательность высокочастотных импульсов с той же частотой заполнения,

длительностью $\tau_И$, равной 2,4 или 10 мс, и периодом повторения $T_П$ = 20 мс.

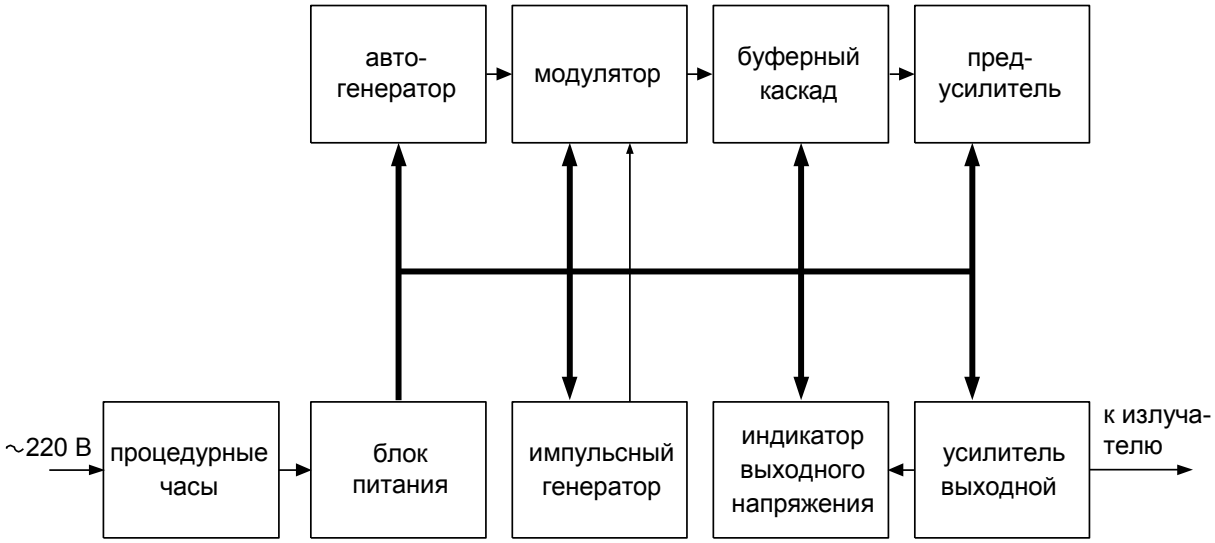


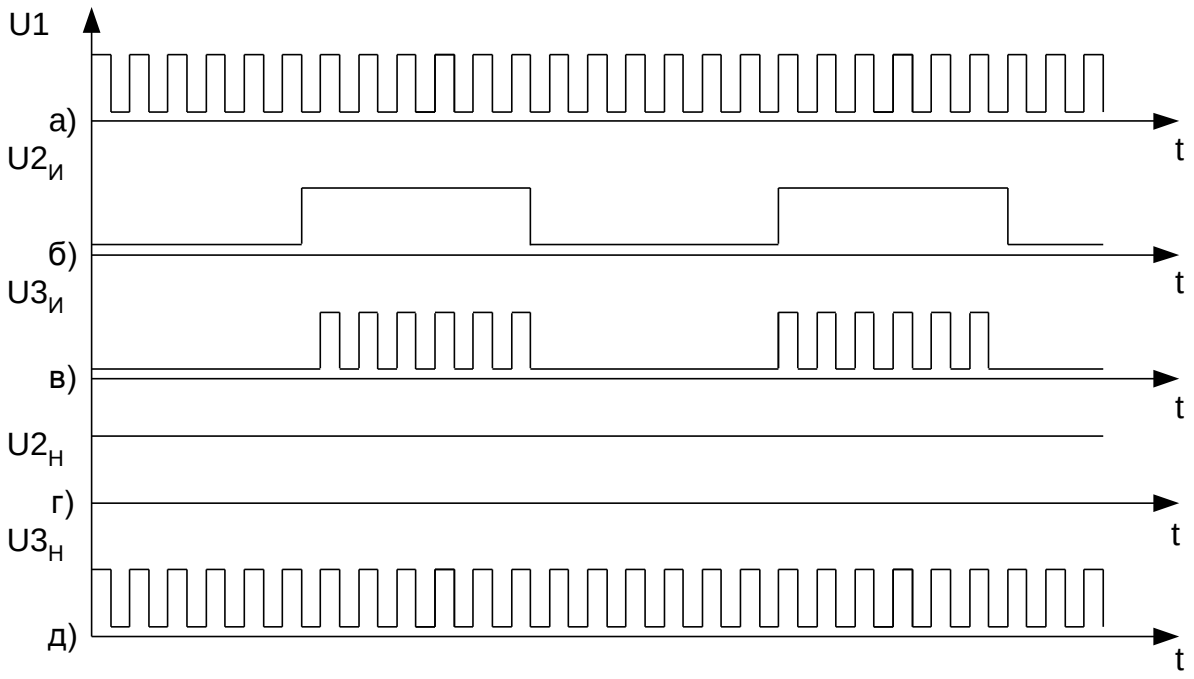
Рисунок 2.2 – Функциональная схема аппарата УЗТ – 1.01 Ф

Колебания ультразвуковой частоты генерируются в автогенераторе и через модулятор подаются на вход буферного каскада, предназначенного для ослабления влияния последующих каскадов на параметры генерируемого сигнала. В импульсном режиме модуляция осуществляется путем подачи на вход модулятора импульсов положительной полярности с выхода импульсного генератора. В непрерывном режиме на вход модулятора подается постоянное напряжение, соответствующее логической единице.

В цепь эмиттера транзистора буферного каскада включен ступенчатый регулятор интенсивности, с выхода которого сигнал подается на вход предусилителя, где усиливается до уровня, необходимого для нормальной работы выходного усилителя. Выходной усилитель предназначен для усиления мощности сигнала до значения, требуемого для получения заданной интенсивности ультразвукового излучения.

Наличие напряжения на выходе электронного блока индицируется световым индикатором выходного напряжения. Аппарат питается от сети переменного напряжения 220 В. блок питания аппарата содержит два стабилизированных источника +5 В и +50 В.

Принципиальная электрическая схема электронного блока ультразвукового аппарата приведена на рис. 2.3.



а – выходное напряжение автогенератора; б и в – выходные напряжения импульсного генератора и модулятора при работе аппарата в импульсном режиме; г и д – выходные напряжения генератора и модулятора при работе аппарата в непрерывном режиме

Рисунок 2.4 – Временные диаграммы работы аппарата УЗТ – 1.01 Ф

Автогенератор собран на трех элементах "И-НЕ" (DD1.1, DD1.2, DD1.3) микросхемы DD1 (К155ЛА3). Частота генератора стабилизирована кварцевым резонатором В1 (РК170ББ-6ВТ 880К).

Собственно генератор колебаний ультразвуковой частоты построен на элементах DD 1.1 и DD 1.3. Элемент DD 1.2 служит для ослабления влияния последующих каскадов на работу автогенератора. Нестабильность частоты генерируемых колебаний не хуже 10^{-5}.

Модулятор предназначен для осуществления импульсной модуляции ультразвуковых колебаний. Он включает в себя перемножитель, выполненный по схеме "И-НЕ" на элементе DD 1.4 микросхемы DD 1 и ключевой усилитель-инвертор, выполненный на транзисторе VT3.

На один из входов микросхемы DD 1 (вывод 12) поступает напряжение U1 с выхода автогенератора (рис. 2.4,а), на другой вход микросхемы D1 (вывод 13) – напряжение $U2_И$ с выхода импульсного генератора (рис. 2.4,б). На интервалах совпадения напряжений на обоих входах элемента DD 1.4 на его выходе (вывод 11) формируется напряжение $U3_И$ (рис. 2.4,в), огибающая которого идентична огибающей модулирующего напряжения $U2_И$. В непрерывном режиме на вывод 13 вместо импульсного подается

постоянное напряжение $U2_Н$ (рис. 2.4,г), поэтому на выходе модулятора – коллекторе VT3 напряжение $U3_Н$ ультразвуковой частоты (рис. 2.4,д) по форме такое же, как и на входе U1. Модулирующие импульсы длительностью 2, 4 и 10 мс вырабатываются в импульсном генераторе, выполненном на микросхеме DD 2 (К155АГ3).

Длительность импульсов определяется величиной емкости конденсатора С4 и сопротивлениями резисторов R5, R12, R14. С выхода импульсного генератора (вывод 6) модулирующие импульсы подаются на вход модулятора.

Сигналом, задающим период следования ($T_П$ = 20 мс) модулирующих импульсов, является синусоидальное напряжение с частотой 50 Гц, снимаемое с обмотки IV силового трансформатора TV1. Вход микросхемы защищен от пробоя с помощью параллельного несимметричного ограничителя, состоящего из резистора R1 и стабилитрона VD1.

Положительный потенциал на входе микросхемы ограничивается на уровне напряжения стабилизации стабилитрона (около 3,5 В), а отрицательный – на уровне падения напряжения на прямом сопротивлении стабилитрона (менее 0,4 В). Конденсатор С2 является элементом фильтра R3-С2 подавления импульсных помех, поступающих с выхода ждущего мультивибратора при отжатых кнопках «РЕЖИМ РАБОТЫ» (длительность импульсных помех – 1-2 мкс). Эти помехи при отсутствии фильтра приводили бы к ложной индикации о наличии напряжения на выходе аппарата при отжатых кнопках «РЕЖИМ РАБОТЫ», т.к. индикатор выходного сигнала содержит в своем составе пиковый детектор, запоминающий как сигнал, так и упомянутую выше помеху.

Буферный каскад построен по схеме эмиттерного повторителя на транзисторе VT4 и выполняет функцию развязки автогенератора от ступенчатого регулятора интенсивности. Последний предназначен для установки амплитуды напряжения на входе предусилителя, соответствующей заданной интенсивности ультразвуковых колебаний излучателя, и реализованных в виде резисторов, включенных в цепь эмиттера VT4, коммутируемых переключателем SA4.

Предусилитель служит для возбуждения выходного усилителя. Он выполнен на транзисторе VT5 по схеме с общим эмиттером и с целью повышения стабильности коэффициента усиления охвачен глубокой отрицательной обратной связью. Согласование предусилителя с выходным усилителем и выделение первой гармоники частоты 0,88 МГц осуществляется с помощью П-образного фильтра, выполненного на элементах С8, L3, С12, С13, С14, С15.

Усиление сигнала по мощности до уровня, достаточного для обеспечения требуемой интенсивности ультразвуковых колебаний, осуществляется в выходном усилителе. Он собран по схеме с общим эмиттером на транзисторе VT6 и охвачен отрицательной обратной связью.

Согласование выходного усилителя с излучателем и фильтрация выходного сигнала осуществляется посредством П-образных LC-фильтров. Коммутация фильтров при смене излучателей осуществляется переключателем S3.

Индикатор выходного напряжения служит для световой индикации о наличии напряжения ультразвуковой частоты на выходе электронного блока. Индикатор состоит из диодного детектора VD14 и транзисторного двухступенчатого ключа (VT16, VT17).

Для уменьшения влияния индикатора на амплитуду выходного напряжения входное сопротивление индикатора должно быть на один – два порядка выше сопротивления нагрузки электронного блока (излучателя).

Выходное сопротивление индикатора должно быть низким для согласования с малым сопротивлением светодиода.

Высокое входное сопротивление индикатора обеспечивается за счет использования полевого транзистора VT16 в первой ступени ключа, низкое сопротивление обеспечивается биполярным транзистором VT17 во второй ступени.

Защита от пробоя перехода ИСТОК-ЗАТВОР полевого транзистора VT16 осуществляется параллельным несимметричным ограничителем R34-VD15. В качестве светового индикатора используется светодиод VD18, включенный в цепь эмиттера биполярного транзистора.

Аппарат питается от сети переменного тока с частотой 50 Гц и номинальным напряжением 220 В через автономный блок питания, включающий в себя трансформатор TV1 и два стабилизированных источника.

Один из них (+ 5 В) состоит из диодного моста VD12 и микросхемы DA3 (КР142ЕН5В). Другой (+ 50 В) – из диодного моста VD13 и параметрического стабилизатора напряжения (транзистор VT9, стабилитрон VD10, резистор R21). При изменении напряжения сети на ± 10 % изменение напряжения на выходе стабилизированного источника не превышает ± 3 %.

С выхода стабилизированного выпрямителя напряжение питания + 50 В поступает к цепям питания буферного каскада, предусилителя и

выходного усилителя. Индикатором включения аппарата в сеть служит светодиод VD19, подключенный к выходу диодного моста VD12.

2.4 Указания мер безопасной эксплуатации ультразвукового аппарата

При эксплуатации и ремонте аппарата следует руководствоваться паспортом и правилами техники безопасности по защите от поражения электрическим током в соответствии с "Правилами устройства, эксплуатации и техники безопасности физиотерапевтических отделений (кабинетов)".

Перед эксплуатацией аппарата необходимо убедиться, что в помещении, в котором должен эксплуатироваться аппарат, имеется соответствующая классу защиты аппарата розетка.

Розетка для включения аппарата должна иметь на внутренней стороне ее корпуса помимо двух отверстий для штырьков два плоских контакта, соединенных с внешним заземляющим устройством. В случае, если сетевая розетка не отвечает требованиям класса защиты аппарата, то категорически запрещается включать аппарат в сеть.

При эксплуатации аппарата необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

- пациент не должен соприкасаться с заземленными предметами (трубами, батареями центрального отопления и т.п.), а предметы, на которых располагается пациент, должны быть выполнены из токонепроводящего материала;
- при работающем аппарате нельзя держать излучатель на воздухе более 1 мин - излучающая поверхность его должна соприкасаться с жидкостью или с облучаемым участком тела (через слой контактного вещества).

Запрещается:

- проводить физиотерапевтические процедуры при неисправном аппарате;
- обслуживающему медицинскому персоналу устранять какие-либо неисправности.

При обнаружении неисправности следует отключить аппарат от сети и вызывать специалистов по ремонту медицинской техники.

2.5 Подготовка ультразвукового аппарата к работе

Перед началом работы аппарата необходимо провести полную санитарную обработку аппарата слегка влажной тканью, не допуская попадания влаги внутрь аппарата. Затем протереть аппарат мягкой тканью.

Электронный блок аппарата следует устанавливать на расстоянии (1-1,5) м от сетевой розетки и не далее 1 м от места расположения пациен-

та во время процедуры. Открытый футляр с принадлежностями устанавливается вблизи электронного блока таким образом, чтобы он не мешал доступу к органам управления аппарата.

Далее заполняются стаканы, установленные в футляре для принадлежностей, дезинфицирующей и контактной жидкостями, т.е. спиртом и вазелиновым маслом или необходимым лекарственным раствором.

После этого следует подключить излучатель к разъему «ВЫХОД» электронного блока аппарата с помощью соединительного кабеля. Далее следует нажать соответствующую подключенному излучателю кнопку переключателя «ИЗЛУЧАТЕЛИ», имеющую надпись одинаковую с последней цифрой типа излучателя.

После установления излучателя в футляр можно вставить вилку сетевого провода аппарата в розетку. Затем необходимо извлечь из футляра излучатель, повернуть его излучающей поверхностью вверх и нанести на нее 2-3 капли воды. Далее следует нажать кнопку «Н» переключателя «РЕЖИМ РАБОТЫ», и установить нужную для работы интенсивность, нажав соответствующую кнопку переключателя «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2».

Нажать кнопку «СЕТЬ» и поворотом ручки-указателя процедурных часов вправо до упора включить аппарат, а затем установить в положение, соответствующее 10-15 мин. При этом должны загореться световые индикаторы «СЕТЬ» и «ВЫХОД», что соответствует включению аппарата в сеть и включению генератора электрических колебаний ультразвуковой частоты. На поверхности воды на излучателе должна появиться легкая рябь (при интенсивности 0,05 Вт/см^2) или фонтанчик с разбрызгиванием капелек воды (при интенсивности 1 Вт/см^2).

Во избежание выхода из строя излучателя время наблюдения за колебаниями воды должно быть не более (5-10) с. Далее, последовательно нажимая кнопки импульсного режима «10», «4», «2» переключателя «РЕЖИМ РАБОТЫ», наблюдают колебания поверхности капелек воды на излучающей поверхности излучателя, которые при каждом последующем нажатии должны уменьшиться.

Поворотом ручки-указателя часов влево устанавливают ее в нулевое положение. При этом аппарат автоматически выключается, и колебания воды на излучающей поверхности излучателя прекращаются.

Аналогичную процедуру следует проделать и со вторым излучателем.

После выполнения указанных мероприятий аппарат готов к работе.

Санитарную обработку наружных поверхностей корпуса электрон-

ного блока следует проводить периодически 3% раствором перекиси водорода с добавлением 0,5% моющего средства.

2.6 Порядок работы с ультразвуковым аппаратом

При проведении процедур тип используемого излучателя, режим работы – непрерывный или импульсный, длительность импульсов, а также значение интенсивности ультразвуковых колебаний и продолжительность процедуры устанавливаются в строгом соответствии с указаниями врача.

Начинать процедуру необходимо с подключения к разъему «ВЫХОД» указанного для проведения процедуры излучателя.

Затем, разместив излучатель в футляре, следует нажать кнопку переключателя «ИЗЛУЧАТЕЛИ» с надписью, идентичной с последней цифрой типа подсоединенного излучателя.

Для проведения процедуры в непрерывном режиме генерации нажимается кнопка «Н» переключателя «РЕЖИМ РАБОТЫ». Далее устанавливается заданная врачом интенсивность ультразвуковых колебаний путем нажатия соответствующей кнопки переключателя «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2».

Для проведения процедуры в импульсном режиме генерации необходимо нажать соответствующую указанной длительности импульса кнопку «2», «4» или «10» переключателя «РЕЖИМ РАБОТЫ».

После смазки вазелиновым маслом или лекарственным веществом участка поверхности кожи пациента в области воздействия прикладывают излучатель его излучающей поверхностью к подготовленному участку тела.

Затем с помощью процедурных часов устанавливают заданную врачом продолжительность времени процедуры.

При проведении процедуры следует следить за тем, чтобы между излучающей поверхностью излучателя и кожей пациента не было прослоек воздуха, т. к. при наличии прослоек даже в 0,001 мм ультразвуковые колебания полностью отражаются от слоя воздуха и не попадают в тело. Излучатель при плохом контакте с телом может сильно нагреться, что вызовет болевые ощущения у пациента.

В соответствии с утвержденными медицинскими методиками можно использовать лабильную или стабильную методику воздействия.

По истечении времени процедуры (световые индикаторы СЕТЬ и ВЫХОД гаснут) ватным тампоном удаляется вазелиновое масло (или лекарственное вещество) с излучающей части излучателя и с участка тела пациента, подвергавшегося воздействию. Затем эти поверхности протира-

ются тампоном, смоченным спиртом.

По окончании проведения всех процедур вилку сетевого шнура следует извлечь из розетки питающей сети.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Укажите назначение аппарата УЗТ–1.01Ф и перечислите его основные технические данные.
2. Какие конструктивные особенности имеет аппарат УЗТ–1.01Ф?
3. Приведите структурную схему аппарата УЗТ–1.01Ф и поясните принцип его работы.
4. Укажите каким образом в ультразвуковом аппарате осуществляется стабилизация высокочастотных колебаний.
5. Поясните принцип действия импульсного генератора и модулятора. Каким образом в импульсном генераторе задается частота и длительность импульсов?
6. Поясните каким образом в аппарате УЗТ–1.01Ф осуществляется регулирование интенсивности ультразвуковых колебаний.
7. Перечислите основные меры безопасной эксплуатации аппарата УЗТ–1.01Ф.
8. Каков порядок подготовки аппарата УЗТ–1.01Ф к работе?
9. Укажите последовательность действий при проведении процедур ультразвуковой терапии с помощью аппарата УЗТ–1.01Ф.

3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА*
«ПОВЕРКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО АППАРАТА «УЗТ–1.01 Ф» И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК»

Целью лабораторной работы является изучение конструкции и принципа действия аппарата для ультразвуковой терапии УЗТ-1.01 Ф, проведение его поверки и исследование характеристик.

3.1 Операции, средства, условия поверки и исследований ультразвукового аппарата

При проведении поверки и исследований аппарата УЗТ-1.01 Ф следует выполнять операции и применять средства, указанные в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Операции и средства поверки и исследований аппарата УЗТ-1.01 Ф

№ операции	Наименование операции поверки и исследований	Средства поверки и исследований
1	Внешний осмотр и проверка работоспособности	–
2	Определение отклонения высокочастотных колебаний от номинального значения	ЛАТР; частотомер; вольтметр
3	Определение отклонения частоты следования импульсов от номинального значения	ЛАТР; частотомер; вольтметр; измерительная цепь
4	Определение погрешности установки длительности импульсов	ЛАТР; частотомер; вольтметр; измерительная цепь
5	Проверка соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения	ЛАТР; вольтметр цифровой вольтметр;
6	Проверка соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения при изменениях напряжения питающей сети	ЛАТР; вольтметр цифровой вольтметр;
7	Проверка соответствия интенсивности УЗ излучения установленному уровню	ЛАТР; вольтметр цифровой вольтметр; датчик УЗ колебаний

* В постановке лабораторной работы принимал участие студент гр. ЭМС-46в Ала Мохаммед Одех

Поверка и исследования аппарата УЗТ-1.01 Ф должны проводиться при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха – 20 ± 5 °С;
- атмосферное давление – 715 ± 85 мм. рт. ст.;
- относительная влажность воздуха – 80 % при температуре 25 °С;
- максимальное отклонение питающего напряжения ± 10 %.

Исследуемый ультразвуковой аппарат и средства измерений должны быть в рабочем состоянии. Работа с ультразвуковым аппаратом и контрольно-измерительной аппаратурой должна производиться в строгом соответствии с инструкциями по их эксплуатации.

3.2 Рабочее место для проведения поверки и исследований ультразвукового аппарата

Для проведения поверки и исследований ультразвукового аппарата УЗТ–1.01 Ф используются следующие вспомогательные устройства и контрольно-измерительная аппаратура:

- ЛАТР РНО-250-2, предназначенный для поддержания на заданном уровне переменного напряжения на входе ультразвукового аппарата;
- комбинированный электроизмерительный прибор Ц4352, позволяющий контролировать переменное напряжение на входе ультразвукового аппарата;
- излучатель ультразвуковых колебаний ИУТ 0,88-4.04 Ф, используемый в качестве штатного излучателя ультразвукового аппарата;
- излучатель ультразвуковых колебаний ИУТ 0,88-1.03 Ф, используемый в качестве датчика колебаний, генерируемых излучателем ультразвукового аппарата;
- измерительная цепь (ИЦ), используемая для измерения параметров выходного сигнала ультразвукового аппарата в импульсных режимах;
- универсальный осциллограф С1-93, предназначенный для визуального наблюдения за выходным напряжением ультразвукового аппарата в различных режимах работы и при различной интенсивности ультразвуковых колебаний;
- электронносчетный частотомер Ч3-54, предназначенный для измерения частотных и временных параметров выходного напряжения ультразвукового аппарата в различных режимах работы;

• цифровой мультиметр Щ4313, предназначенный для измерения действующего напряжения на выходе ультразвукового аппарата и на выходе датчика при различной интенсивности ультразвуковых колебаний.

Схема рабочего места для проведения поверки и исследований аппарата УЗТ-1.01 Ф приведена на рис. 3.1.

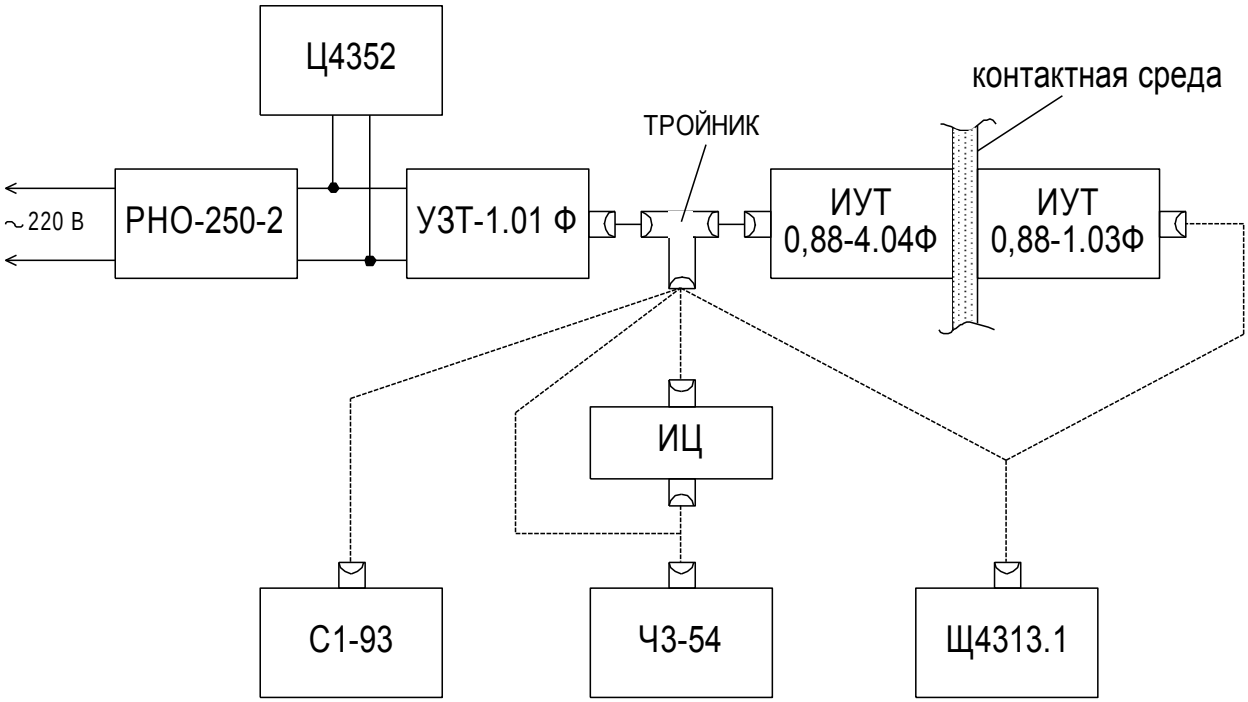


Рисунок 3.1 – Схема рабочего места для проведения поверки и исследований аппарата УЗТ-1.01 Ф

Схема измерительной цепи показана на рисунке 3.2. Для ее реализации были использованы следующие элементы: VD1 – диод КД521Д, R1 – резистор 510 Ом, R2 – резистор 5,1 кОм, С1 –конденсатор 47 нФ.

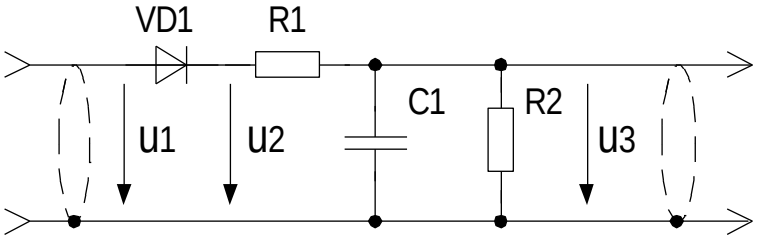


Рисунок 3.2 – Схема измерительной цепи

Принцип действия измерительной цепи поясняют временные диаграммы, приведенные на рис. 3.3. С помощью диода VD1 входной сигнал u1 (рис.

3.3,а) выпрямляется (сигнал u2 на рис. 3.3,б). Далее с помощью интегрирующей цепи производится сглаживание высокочастотных пульсаций (сигнал u3 на рис. 3.3,в). Параметры интегрирующей цепи выбраны таким образом, что обеспечивают сглаживание только высокочастотной составляющей сигнала и практически не влияют на длительность импульсов $\tau_И$ и период их следования $T_И$. Использование рассмотренной измерительной цепи позволяет определять с помощью частотомера параметры выходного напряжения ультразвукового аппарата в импульсном режиме.

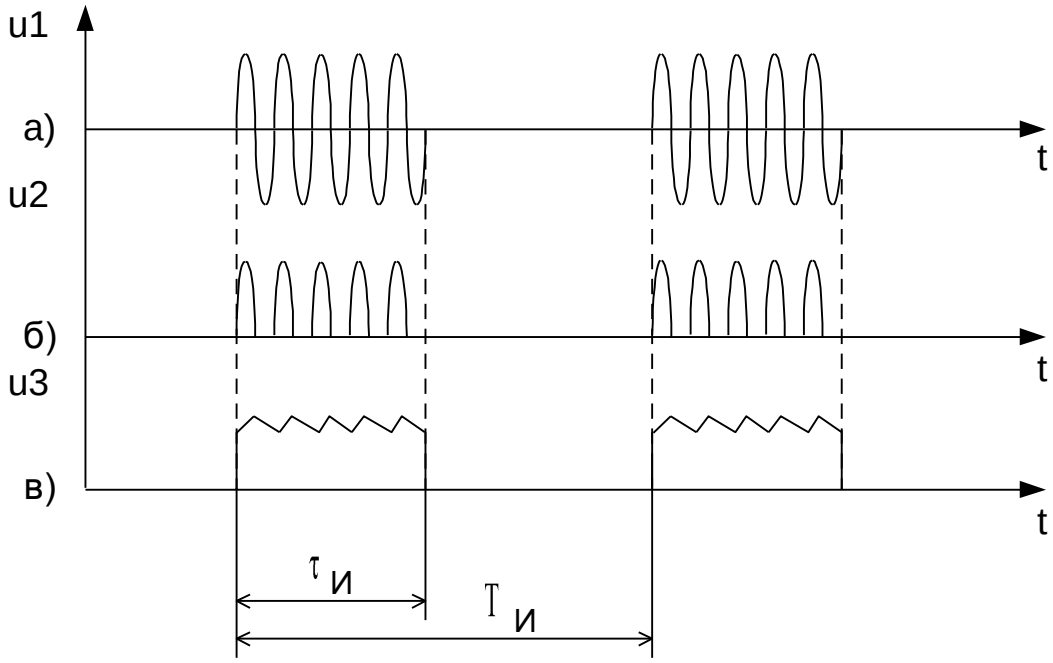


Рисунок 3.3 – Диаграмма напряжений в измерительной цепи

3.3 Порядок выполнения лабораторной работы

3.3.1 Внешний осмотр и проверка работоспособности ультразвукового аппарата

3.3.1.1 При проведении внешнего осмотра должно быть установлено соответствие поверяемого аппарата следующим требованиям:

- комплектность и маркировка аппарата должны соответствовать паспортам аппарата тА3.836.011 ПС и излучателя ТУ 64-1-3201-78;
- аппарат и излучатель не должны иметь видимых механических повреждений.

3.3.1.2 Проверка исправности всех органов управления производится путем их поочередного переключения. В исходном состоянии все кнопки

должны находиться в выключенном состоянии (не утоплены), а ручка процедурных часов – в крайнем левом положении.

3.3.1.3 Проверка работоспособности аппарата производится в соответствие с п/р 2.5. Дополнительно к этому с помощью осциллографа можно наблюдать за изменениями в характере выходного напряжения аппарата при переключениях кнопок переключателей «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» и «РЕЖИМ РАБОТЫ». При проверке работоспособности аппарата на его входе с помощью ЛАТРа должно быть установлено напряжение 220 В.

Закончив проверку работоспособности аппарата, следует вернуть в исходное состояние все кнопки переключателей, ручку процедурных часов установить в крайнее левое положение и выключить аппарат.

3.3.2 Определение отклонения частоты высокочастотных колебаний от номинального значения

3.3.2.1 Для проверки отклонения частоты высокочастотных колебаний от номинального значения, равного 0,88 МГц, необходимо разместить УЗ излучатель в сосуде с водой и установить переключатели аппарата в следующие положения:

- переключатель «ИЗЛУЧАТЕЛИ» - в положение «4»;
- переключатель «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» - в положение «0,05»;
- переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» - в положение «Н».

3.3.2.2 К свободному выходу тройника нужно подключить вход частотомера и включить аппарат. Измерение частоты высокочастотных колебаний следует произвести 5 – 6 раз, а результаты измерений занести в табл. 3.2. При проведении измерений на входе аппарата с помощью ЛАТРа должно быть установлено напряжение 220В.

Таблица 3.2 – Результаты измерений частоты высокочастотных колебаний

f_1, кГц	f_2, кГц	f_3, кГц	f_4, кГц	f_5, кГц	f_6, кГц

3.3.2.3 Вычисление среднего значения частоты высокочастотных колебаний следует производить по выражению

$$f_{CP} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} f_i \qquad (3.1)$$

где n – количество измерений;

f_i – значение частоты при i-ом измерении.

3.3.2.4 Отклонение частоты высокочастотных колебаний от номинального значения оценивается погрешностью

$$\delta_f = \frac{|f_H - f_{CP}|}{f_H} 100\%, \qquad (3.2)$$

где f_H = 0,88 МГц - номинальное значение частоты высокочастотных колебаний.

Значение частоты высокочастотных колебаний на выходе аппарата УЗТ-1.01 Ф можно считать удовлетворительным, если оно отличается от номинального не более чем на 0,03 % (см. табл. 2.1).

Определив отклонение частоты высокочастотных колебаний от номинального значения, следует вернуть в исходное состояние все кнопки переключателей, ручку процедурных часов установить в крайнее левое положение и выключить аппарат.

3.3.3 Определение отклонения частоты следования импульсов от номинального значения

3.3.3.1 Для проверки отклонения частоты следования импульсов от номинального значения, равного 50 Гц, необходимо разместить УЗ-излучатель в сосуде с водой и установить переключатели аппарата в следующие положения:

- переключатель «ИЗЛУЧАТЕЛИ» - в положение «4»;
- переключатель «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» - в положение «0,05»;
- переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» - в положение «2».

3.3.3.2 К свободному выходу тройника нужно подключить измерительную цепь, к ее выходу – вход частотомера и включить аппарат. С помощью частотомера следует измерить период следования импульсов. Измерения повторить 5 – 6 раз, а результаты измерений занести в табл. 3.3. При проведении измерений на входе аппарата с помощью ЛАТРа должно быть установлено напряжение 220 В.

Таблица 3.3 – Результаты измерения периода следования импульсов

$T_{И1}$, мс	$T_{И2}$, мс	$T_{И3}$, мс	$T_{И4}$, мс	$T_{И5}$, мс	$T_{И6}$, мс

3.3.3.3 Вычисление среднего значения периода следования импульсов следует производить по выражению

$$T_{ИСР} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} T_{Иi} , \qquad (3.3)$$

где n – количество измерений;

$T_{Иi}$ – значение периода при i – ом измерении.

3.3.3.4 Вычисление среднего значения частоты следования импульсов произвести по выражению

$$f_{ИСР} = \frac{1}{T_{ИСР}}. \qquad (3.4)$$

3.3.3.5 Отклонение среднего значения измеренной и вычисленной частоты следования импульсов от номинального значения оценивается погрешностью

$$\delta_{И} = \frac{|f_{ИН} - f_{ИСР}|}{f_{ИН}} 100\%, \qquad (3.5)$$

где $f_{ИН}$ = 50 Гц – номинальное значение частоты следования импульсов.

Значение частоты следования импульсов на выходе аппарата УЗТ-1.01 Ф при его работе в импульсном режиме можно считать удовлетворительным, если оно отличается от номинального не более чем на 1,0 % (см. табл. 2.1).

Определив отклонение частоты импульсов от номинального значения, следует вернуть в исходное состояние все кнопки переключателей, ручку процедурных часов установить в крайнее левое положение и выключить аппарат.

3.3.4 Определение погрешности установки длительности импульсов

3.3.4.1 Для проверки погрешности установки длительности импульсов, необходимо разместить УЗ излучатель в сосуде с водой и установить переключатели аппарата в следующие положения:

- переключатель «ИЗЛУЧАТЕЛИ» - в положение «4»;
- переключатель «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» - в положение «0,05»;
- переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» - в положение «2».

3.3.4.2 К свободному выходу тройника нужно подключить измерительную цепь, к ее выходу – вход частотомера, а затем включить аппарат. Измерение длительности импульсов следует произвести 5 – 6 раз, а результаты измерений занести в табл. 3.4. При проведении измерений на входе аппарата с помощью ЛАТРа должно быть установлено напряжение 220 В.

Таблица 3.4 – Результаты измерений длительности импульсов (при $\tau_{ИН}$ = 2 мс)

$\tau_{И1}$, мс	$\tau_{И2}$, мс	$\tau_{И3}$, мс	$\tau_{И4}$, мс	$\tau_{И5}$, мс	$\tau_{И6}$, мс

3.3.4.3 Среднее значение длительности импульсов следует определять по выражению

$$\tau_{ИСР} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \tau_{Иi} , \qquad (3.6)$$

где n – количество измерений;

$\tau_{Иi}$ – значение длительности импульсов при i – ом измерении.

3.3.4.4 Погрешность установки длительности импульсов определяется выражением

$$\delta_{\tau} = \frac{|\tau_{ИН} - \tau_{ИСР}|}{\tau_{ИН}} 100\%, \qquad (3.7)$$

где $\tau_{ИН}$ = 2 мс – номинальное значение длительности импульсов при установке переключателя «РЕЖИМ РАБОТЫ» в положение «2».

3.3.4.5 Установить переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» в положение «4» и выполнить измерения и расчеты по п.п. 3.3.4.2 – 3.3.4.4 для установленного номинального значения длительности импульсов, равного 4 мс. Результаты измерений занести в табл. 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты измерения длительности импульсов (при $\tau_{ИН}$ = 4 мс)

$\tau_{И1}$, мс	$\tau_{И2}$, мс	$\tau_{И3}$, мс	$\tau_{И4}$, мс	$\tau_{И5}$, мс	$\tau_{И6}$, мс

3.3.4.6 Установить переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» в положение «10» и выполнить измерения и расчеты п.п. 3.3.4.2 – 3.3.4.4 для установленного номинального значения длительности импульсов, равного 10 мс. Результаты измерений занести в табл. 3.6.

Таблица 3.6 - Результаты измерения длительности импульсов (при $\tau_{ИН}$ = 10 мс)

$\tau_{И1}$, мс	$\tau_{И2}$, мс	$\tau_{И3}$, мс	$\tau_{И4}$, мк	$\tau_{И5}$, мс	$\tau_{И6}$, мс

Любое установленное значение длительности импульсов на входе аппарата УЗТ-1.01 Ф можно считать удовлетворительным, если оно отличается от номинального не более, чем на 20 % (см. табл. 2.1).

Определив погрешности установки длительности импульсов, следует вернуть в исходное состояние все кнопки переключателей, ручку процедурных часов установить в крайнее левое положение и выключить аппарат.

3.3.5 Проверка соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения

Каждому установленному уровню интенсивности УЗ излучения соответствует определенное значение переменного высокочастотного напряжения, подаваемого на излучатель. Сведения об уровнях указанных напряжений приведены в табл. 2.1.

3.3.5.1 Для проверки соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения необходимо разместить УЗ излучатель в сосуде с водой и установить переключатели аппарата в следующие положения:

- переключатель «ИЗЛУЧАТЕЛИ» - в положение «4»;
- переключатель «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» - в положение «0,05»;
- переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» - в положение «Н».

3.3.5.2 К свободному выходу тройника следует подключить цифровой вольтметр и включить аппарат. С помощью ЛАТРа на входе аппарата должно быть установлено напряжение 220 В. Результаты измерений выходного напряжения аппарата следует занести в табл. 3.7. Затем с помощью переключателя «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» необходимо поочередно устанавливать все возможные значения интенсивности УЗ излучения и производить измерения выходного напряжения аппарата. Результаты измерений также заносятся в табл. 3.7.

Таблица 3.7 - Результаты проверки выходного напряжения аппарата на соответствие установленному уровню интенсивности УЗ излучения (при U_C = 220 В)

Интенсивность, Вт/см^2	0,05	0,2	0,4	0,7	1,0
Напряжение, В					
Погрешность, %					

3.3.5.3 Для оценки соответствия выходного напряжения аппарата установленному номинальному значению следует использовать выражение

$$\delta_U = \frac{|U_{Hi} - U_{Ии}|}{U_{Hi}} 100\%, \qquad (3.8)$$

где U_{Hi} – номинальное значение выходного напряжения аппарата для i – го установленного уровня интенсивности УЗ колебаний (см. табл. 2.1);

$U_{Ии}$ – измеренное значение выходного напряжения аппарата при установке i – го уровня интенсивности УЗ колебаний. Результаты вычисления погрешностей заносятся в табл. 3.7.

Любое напряжение, установленное на выходе аппарата, можно считать удовлетворительным, если оно отличается от номинального значения не более, чем на 20 %.

Завершив проверку соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения, следует вернуть в исходное состояние все кнопки переключателей, ручку процедурных часов установить в крайнее левое положение и выключить аппарат.

3.3.6 Проверка соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения при изменениях напряжения питающей сети

3.3.6.1 Для проверки соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения необходимо разместить УЗ излучатель в сосуде с водой и установить переключатели аппарата в следующие положения:

- переключатель «ИЗЛУЧАТЕЛИ» - в положение «4»;
- переключатель «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» - в положение «0,05»;
- переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» - в положение «Н».

3.3.6.2 К свободному выходу тройника следует подключить цифровой вольтметр с помощью ЛАТРа установить на входе аппарата напряжение 198 В и включить аппарат. Далее измерения и вычисления следует производить в соответствии с п.п. 3.3.5.2 – 3.3.5.3. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 3.8.

Таблица 3.8 - Результаты проверки выходного напряжения аппарата на соответствие установленному уровню интенсивности УЗ излучения (при U_C = 198 В)

Интенсивность, Вт/см^2	0,05	0,2	0,4	0,7	1,0
Напряжение, В					
Погрешность, %					

3.3.6.3 С помощью ЛАТРа установить на входе аппарата напряжение 242 В и повторить все измерения и вычисления в соответствии с п.п. 3.3.5.2 – 3.3.5.3. Результаты измерений занести в табл. 3.9.

Таблица 3.9 - Результаты проверки выходного напряжения аппарата на соответствие установленному уровню интенсивности УЗ излучения (при U_C = 242 В)

Интенсивность, Вт/см^2	0,05	0,2	0,4	0,7	1,0
Напряжение, В					
Погрешность, %					

Установленные на выходе аппарата напряжения не должны отличаться от своих номинальных значений более, чем на 20 %, при любых допустимых изменениях напряжения питающей сети.

Завершив проверку соответствия выходного напряжения аппарата установленному уровню интенсивности УЗ излучения, следует вернуть в исходное состояние все кнопки переключателей, ручку процедурных часов установить в крайнее левое положение и выключить аппарат.

3.3.7 Проверка соответствия интенсивности УЗ излучения установленному значению

При измерении интенсивности УЗ излучения в качестве датчика используется излучатель типа ИУТ 0,88–1.03 Ф, излучающая поверхность которого через контактную среду совмещается с излучающей поверхностью излучателя ИУТ 0,88–4.04 Ф, подключенного к выходу аппарата. При этом в датчике будет наблюдаться явление прямого пьезоэлектрического эффекта, который заключается в том, что под действием механических колебаний происходит деформация кристалла пьезоэлектрика, приводящая к генерации электрического напряжения. Зная передаточный коэффициент УЗ датчика, и, производя измерение его выходного напряжения, можно измерить интенсивность УЗ излучения.

3.3.7.1 Для проверки соответствия интенсивности УЗ излучения установленному значению необходимо совместить через контактную среду поверхности излучателя и датчика, а затем установить переключатели аппарата в следующие положения:

- переключатель «ИЗЛУЧАТЕЛИ» - в положение «4»;
- переключатель «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» - в положение «0,05»;

- переключатель «РЕЖИМ РАБОТЫ» - в положение «Н».

3.3.7.2 К выходу датчика следует подключить цифровой вольтметр и включить аппарат. Результаты измерений выходного напряжения датчика следует занести в табл. 3.10. При проведении измерений на входе аппарата с помощью ЛАТРа должно быть установлено напряжение 220 В.

Таблица 3.10 - Результаты измерения интенсивности УЗ излучения

Установленная интенсивность, Вт/см^2	0,05	0,2	0,4	0,7	1,0
Напряжение на выходе датчика, В					
Измеренная интенсивность, Вт/см^2					
Погрешность, %					

3.3.7.3 С помощью переключателя «ИНТЕНСИВНОСТЬ, Вт/см^2» следует поочередно устанавливать все возможные значения интенсивности УЗ излучения и производить измерения выходного напряжения датчика. Результаты измерений также следует занести в табл. 3.10.

3.3.7.4 По данным табл. 3.10 следует произвести расчет интенсивности УЗ излучения, используя выражение

$$J_{Иi} = kU_{Дi}, \tag{3.9}$$

где k – передаточный коэффициент датчика интенсивности УЗ колебаний, реализованного на излучателе типа ИУТ 0,88–1.03 Ф (передаточный коэффициент измеряется в Вт/В·см^2, а его значение указывается преподавателем);

$U_{Дi}$ – измеренное значение выходного напряжения датчика при установке i-го уровня интенсивности УЗ колебаний. Результаты вычислений заносятся в табл. 3.10.

3.3.7.5 Отклонение интенсивности УЗ излучения от установленного значения оценивается погрешностью

$$\delta_J = \frac{|J_{Hi} - J_{Иi}|}{J_{Hi}} 100\%, \tag{3.10}$$

где J_{Hi} – номинальное значение i-й установленной интенсивности УЗ из-

лучения;

J_{Ii} – измеренное значение интенсивности УЗ излучения при установке i-го уровня излучения.

Любое значение интенсивности УЗ колебаний можно считать удовлетворительным, если его отклонение от установленного номинального не превышает 45 - 50 % (см. табл. 2.1).

Завершив проверку соответствия интенсивности УЗ излучения аппарата установленному значению, следует вернуть в исходное состояние все кнопки переключателей, ручку процедурных часов установить в крайнее левое положение и выключить аппарат.

3.4 Обработка результатов экспериментальных исследований и правила оформления отчета

3.4.1 Результаты проверки частотных и временных параметров ультразвукового аппарата УЗТ 1.01 Ф по п.п. 3.3.2 – 3.3.4 представить в виде столбчатых диаграмм в одной прямоугольной системе координат с логарифмической шкалой по оси ординат. В этой же системе координат показать допустимые значения отклонений.

3.4.2 По данным таблицы 2.1 в прямоугольной системе координат построить зависимость номинальных значений выходного напряжения аппарата от установленного уровня интенсивности УЗ излучения $U_{Hi}(J_{Hi})$. По результатам измерений по п.п. 3.3.5 и 3.3.6 в этой же системе координат построить зависимости измеренных значений выходного напряжения аппарата от установленного уровня интенсивности УЗ излучения U_{Ii} (J_{Hi}) при различных значениях напряжения питающей сети. В отдельной системе координат в виде столбчатых диаграмм построить зависимости погрешности установки выходного напряжения аппарата от установленного значения интенсивности УЗ колебаний $\delta_U(J_{Hi})$ при различных напряжениях питающей сети. Здесь же показать допустимые значения погрешностей.

3.4.3 По результатам измерений по п. 3.3.7 в прямоугольной системе координат построить в виде столбчатых диаграмм зависимость погрешности установки интенсивности УЗ излучений $\delta_J(J_{Hi})$. Здесь же показать допустимое значение погрешности.

3.4.4 Отчет о выполненной лабораторной работе оформляется рукописно (чертежным шрифтом), печатается машинописным способом или с помощью ЭВМ на одной стороне листа белой бумаги формата А4 (210×297

мм). Возможно использование листов бумаги меньшего размера в пределах от 203×208 мм до 210×297мм. При оформлении отчета следует придерживаться требований стандарта [12].

3.4.5 Отчет о выполненной лабораторной работе должен содержать:

- титульный лист;
- цель лабораторной работы;
- основные положения ультразвуковой терапии;
- функциональную схему и краткое описание принципа действия аппарата УЗТ-1.01 Ф, диаграмму его выходного напряжения, основные технические характеристики;
- принципиальную схему заданного преподавателем функционального блока аппарата УЗТ-1.01 Ф с указанием назначения основных элементов;
- схему рабочего места для проведения поверки и исследований аппарата УЗТ-1.01 Ф с перечнем измерительных приборов и оборудования;
- сведения об условиях проведения поверки и исследований аппарата;
- результаты экспериментальных исследований в виде таблиц и графиков с анализом и выводами по каждому из проведенных экспериментов;
- список использованной литературы.

Вопросы и задания для самопроверки

1. Дайте определение ультразвуку, укажите области его применения в медицине. Перечислите основные показания и противопоказания к ультразвуковой терапии, поясните особенности методик использования ультразвука в лечебных целях.
2. Укажите порядок внешнего осмотра и проверки работоспособности ультразвукового аппарата УЗТ–1.01 Ф.
3. Каким образом осуществляется определение отклонения частоты высокочастотных колебаний ультразвукового аппарата от номинального значения?
4. Каков порядок определения отклонения частоты следования импульсов ультразвукового аппарата от номинального значения? Укажите назначение и поясните принцип действия измерительной цепи. Приведите основные расчетные соотношения для определения указанного отклонения.
5. Каким образом может быть определена погрешность установки длительности импульсов ультразвукового аппарата? Приведите основные расчетные соотношения для определения погрешности.

6. Укажите, от какого параметра выходного напряжения аппарата УЗТ–1.01 Ф зависит интенсивность ультразвукового излучения? Как меняется этот параметр при изменении напряжения питающей сети?

7. Что при выполнении лабораторной работы было использовано в качестве датчика для измерения интенсивности УЗ излучения аппарата? Какой эффект наблюдался в этом устройстве.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Популярная медицинская энциклопедия. / Гл. ред. В.И. Покровский. – Ул.: «Книгочей», 1997. – 688 с.
2. Ремизов А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1987. – 638с.
3. Боголюбов В.М., Пономаренко Г.Н. Общая физиотерапия: Учебник. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1999. – 432 с.
4. Пасынков Е.И. Физиотерапия. – М.: Медицина, 1966. – 312 с.
5. Клячкин Л.М., Виноградова М.Н. Физиотерапия: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1995. – 240 с.
6. Абрикосов И.А., Крылов Н.П. Практическая физиотерапия. – М.: Высшая школа, 1961. – 376 с.
7. Клиническая физиотерапия / Под ред. В.В. Оржешковского. – К.: Здоровье, 1984. – 448с.
8. Улащик В.С. Новые методы и методики физической терапии. – Мн.: Беларусь, 1986. – 175 с.
9. Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура. – М.: Медицина, 1981. – 344с.
10. Осинов Л.В. Ультразвуковые диагностические приборы: Практическое руководство для пользователей. – М.: Видар, 1999. – 256 с.
11. Аппарат для ультразвуковой терапии УЗТ–1.01 Ф. Паспорт тА3.836.011.ПС. – 1991. – 70 с.
12. ДСТУ – 3008-95. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення.

Навчальне видання

КІПЕНСЬКИЙ Андрій Володимирович
ШАМАРДІНА Віра Миколаївна
ДЕЙНЕКО Дмитро Михайлович

УЛЬТРАЗВУКОВА ТЕРАПІЯ

Навчально-методичний посібник

Російською мовою

Роботу рекомендував до видання проф. В.Т. Долбня

В авторській редакції

План 2002 р., п 7/115-02

Підписано до друку 16.12.2002 г. Формат 60×84 1/16. Друк – ризографія. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 3,0. Обл.-вид. арк. 3,3. Гарнітура Times New Roman. Тираж 100 прим. Зам. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”. МП Сергеев

НТУ “ХПІ”, 61002, м. Харків, вул. Фрунзе.

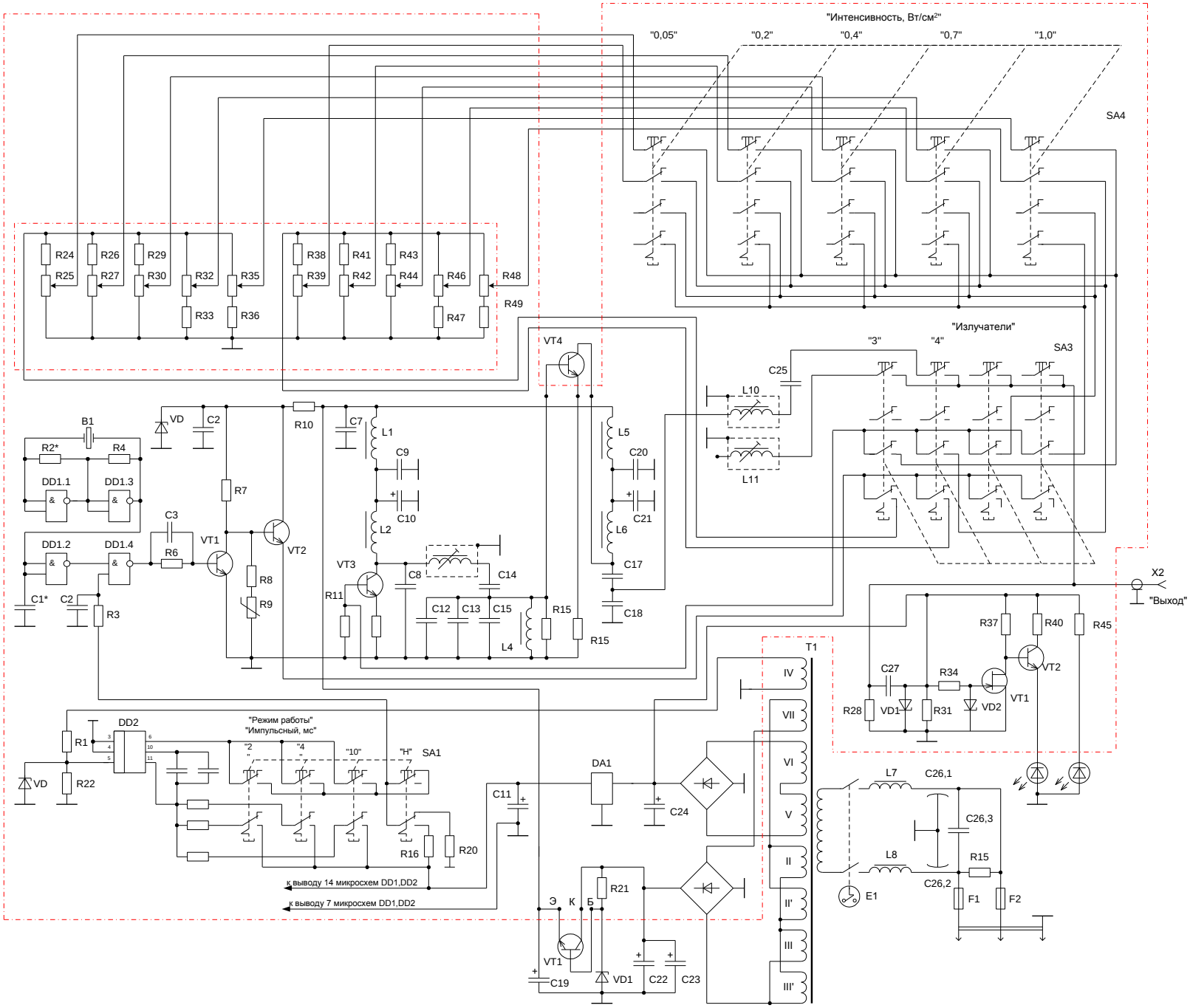


Рисунок 2.3 – Электрическая принципиальная схема аппарата УЗТ – 1.01 Ф