

## Аппарат для фоноэлектротерапии

### Аннотация

Описаны устройство и функциональные возможности аппарата для низкочастотной фоноэлектротерапии. Аппарат позволяет осуществлять одновременное воздействие ультразвуком в диапазоне 22...44 кГц интенсивностью до 1,0 Вт/см<sup>2</sup> при различных режимах и электрическими токами различного вида и величины силы тока. Разработка аппарата позволила практически реализовать новый физиотерапевтический метод одновременного (сочетанного) воздействия ультразвука и различных видов электрических токов. Клиническая апробация аппарата продемонстрировала его высокую медико-экономическую эффективность.

Сложный характер патогенеза и клинических проявлений большинства заболеваний, наличие сопутствующих болезней диктуют необходимость комплексного подхода к использованию терапевтических средств, а поэтому одним из принципов современной медицины является принцип комплексности. В физиотерапии данный принцип осуществляется в виде комбинирования и сочетания лечебных физических факторов [1]-[3]. В многочисленных исследованиях доказано, что одновременное (сочетанное или симультанное) применение нескольких физиотерапевтических факторов имеет преимущества перед их раздельным или комбинированным использованием, что стимулирует разработку сочетанных физиотерапевтических методов [3], [4].

Особенности и достоинства сочетанных методов физиотерапии могут быть сведены к следующему [4], [5]:

- 1) при одновременном использовании физических факторов взаимопотенцирование их физиологического и лечебного действия выражено сильнее, чем при комбинированном применении этих же методов;
- 2) к сочетанному действию лечебных физических факторов значительно реже и медленнее развивается привыкание, а процедуры могут проводиться при меньших интенсивности и продолжительности;
- 3) при сочетанных физиотерапевтических воздействиях реакция организма чаще носит общий характер, в нее активнее вовлекаются системы нейрогуморальной регуляции;
- 4) под влиянием сочетанных физиотерапевтических процедур (по сравнению с комбинированными) более значительно интенсифицируются общие саногенетические механизмы и местные реакции, направленные на ликвидацию патологического процесса;
- 5) сочетанное использование физиотерапевтических процедур сокращает лечебный процесс во времени, делает его менее утомительным для больных и менее трудоемким для медицинского персонала.

В силу изложенного разработка сочетанных методов и соответствующей аппаратуры – одно из актуальных направлений развития физиотерапии и медицинской техники. В настоящей статье описывается аппарат для фоноэлектротерапии, обеспечивающий раздельное, последовательное и сочетанное воздействие низкочастотным ультразвуком и наиболее терапевтически значимыми электрическими токами.

### Концепция и техническая реализация изделия

Многие из хорошо обоснованных и эффективных методов сочетанной физиотерапии не нашли применения в клинической практике из-за отсутствия серийно выпускаемых для этого аппаратов. Уместно подчеркнуть, что разработка таких устройств в ряде случаев является достаточно сложной и практически трудно реализуемой задачей.

Разработке аппарата предшествовали экспериментальные исследования на различных моделях патологических процессов. Они показали, что комплексное применение ультразвука и различных видов электрических токов по сравнению с их раздельным использованием оказывает более выраженное те-

рапевтическое влияние на течение патологического процесса и его типовые проявления. Выявленность преимуществ комплексного применения изученных физических факторов зависит от их параметров и условий использования [6], [7]. Полученные результаты указывают на перспективность и целесообразность разработки метода фоноэлектротерапии и аппаратов для его практической реализации.

Предлагаемое нами техническое решение позволяет реализовать задачу повышения эффективности терапевтического воздействия на органы и ткани за счет одновременного (сочетанного) применения ультразвукового излучения и электрических токов.

Базовой основой для построения аппарата для фоноэлектротерапии послужил разработанный ранее теми же авторами и уже хорошо зарекомендовавший себя в лечебной практике аппарат низкочастотной ультразвуковой терапии, описанный в работах [8], [9]. В дополнение к имеющимся режимам и частотам излучения ультразвукового сигнала с регулировкой мощности излучения введены несколько режимов формирования электрических токов с возможностью регулирования их значений. Особое внимание при разработке было уделено реализации механизмов поддержания заданной излучаемой ультразвуковой мощности независимо от контакта излучателя с поверхностью озвучиваемого объекта и постоянства электрического тока независимо от сопротивления электрического контакта лечебной головки с пациентом. Все устанавливаемые режимы и параметры физических воздействий должны устанавливаться понятным образом и отображаться на панели аппарата световыми индикаторами.

Структурная схема разработанного аппарата для фоноэлектротерапии представлена на *рис. 1*. Аппарат содержит следующие основные узлы: УЗГ – управляемый задающий генератор; УМС – усилитель мощности с согласующим устройством; МУУ – микропроцессорное устройство управления; УВО – устройство ввода и отображения режимов; БКА – блок контроля акустического контакта; КЛГ – комбинированная лечебная головка; КУС – узел контроля параметров ультразвукового излучения; УРМ – узел регулировки мощности; УИТ – управляемый источник тока; КМТ – коммутатор тока; УКТ – узел контроля выходного тока; ЭЛД – электрод.

Режимы работы аппарата устанавливаются с помощью устройства ввода и отображения режимов УВО. Возможны несколько режимов работы, когда аппарат может функционировать как два независимых аппарата – ультразвуковой терапии и электротерапии – и как аппарат комбинированной (сочетанной) терапии, с возможностью установки параметров выходного сигнала каждого вида воздействия. Управление всеми узлами устройства для формирования требуемых сигналов и контроль параметров излучения осуществляются микропроцессорным устройством управления МУУ.

Формирование ультразвукового излучения заданной частоты и формы в соответствии с установленными параметрами проводимой процедуры осуществляется с помощью задающего генератора УЗГ, управляемого микропроцессорным устройством управления МУУ. Сигнал с выхода УЗГ поступает на

вход усилителя мощности УМС и через узел контроля акустического контакта УКА подается на двухчастотный акустический узел комбинированной лечебной головки КЛГ. Узел контроля акустического контакта контролирует уровень активной мощности, поступающей в лечебную головку. При изменении уровня активной мощности, подводимой к лечебной головке, происходит автоматическая подстройка выходной мощности усилителя для обеспечения требуемой мощности излучения ультразвукового сигнала. Для обеспечения максимальной эффективности преобразования электрической энергии в акустическую (максимального коэффициента полезного действия аппарата) с узла контроля параметров излучения КУС поступает сигнал, по которому производится постоянная подстройка частоты управляемого задающего генератора к резонансной частоте лечебной головки, которая зависит от температуры и величины акустической нагрузки.

Канал формирования тока базируется на управляемом источнике тока УИТ, параметры которого задаются и поддерживаются в заданных пределах устройством управления, которое получает информацию о режимах работы источника тока через узел контроля выходного тока УКТ. Выходной ток источника тока УИТ через коммутатор КМТ поступает на электрод ЭЛД. Вторым электродом служит металлическая поверхность комбинированной лечебной головки, через которую излучается ультразвуковой сигнал. Коммутатор КМТ обеспечивает задание различных временных режимов воздействия током (низкочастотная, высокочастотная и импульсная электротерапия). Поскольку частота изменения тока не превышает 5000 Гц и не требуется осуществлять изменение частоты в процессе проведения процедуры, управление режимами тока реализовано программным путем с помощью микропроцессорного устройства управления МУУ.

Питание узлов аппарата осуществляется от сетевого адаптера питания медицинского назначения с повышенной степенью защиты и выходным напряжением 24 В. Сетевой адаптер питания обеспечивает гальваническую развязку цепей аппарата от питающего напряжения, гарантируя его безопасное применение.

Особенностью аппарата являются принципиально новые технические решения и функциональные возможности, реализованные в его конструкции.

Таковыми решениями, в частности, являются:

- возможность одновременного воздействия двух физических факторов – ультразвукового излучения и электрического тока – через одну комбинированную лечебную головку на одну и ту же часть тела;

- автоматическая непрерывная подстройка частоты ультразвукового излучения для эффективной работы аппарата с минимальной потребляемой мощностью при заданной излучаемой мощности;
- контроль акустического и электрического контакта лечебной головки с телом пациента;
- поддержание заданного уровня ультразвукового излучения независимо от сопротивления акустического контакта;
- поддержание стабильного тока независимо от состояния (электрического сопротивления) кожного покрова пациента;
- несколько режимов излучения каждого физического параметра с регулируемыми параметрами;
- автоматическая установка режимов работы и полная диагностика состояния аппарата;
- возможность использования аппарата в качестве двух независимых физиотерапевтических аппаратов.

### Функциональные возможности, режимы воздействия и применение

В аппарате реализованы все режимы излучения ультразвукового сигнала, которые предусмотрены в аппаратах данного класса: непрерывный, импульсный и модулированный, с возможностью установки параметров импульсов и режима модуляции. Аппарат позволяет работать с акустическими узлами двух частот – 22 и 44 кГц. При подключении акустического узла аппарат обеспечивает автоматическое определение его рабочей частоты, точную настройку на резонанс акустического узла и определение его сопротивления потерь, которое необходимо для эффективного управления выходной мощностью.

Режим низкочастотной ультразвуковой терапии отображается на индикаторе «Режим-Мощность» в первой позиции:

- 0 – непрерывный;
- 1 – импульсный;
- 2 – модулированный.

Номинальная частота ультразвукового излучения отображается на индикаторе «Частота».

Режимы терапии электрическими токами отображаются на индикаторе «Режим-Мощность» во второй позиции:

- 0 – гальванический ток с положительной полярностью на КЛГ;
- 1 – гальванический ток с отрицательной полярностью на КЛГ;
- 2 – диадинамический ток частотой 50 Гц положительной полярности (ток «однотактный непрерывный» или «однополупериодный непрерывный», когда импульсы частотой 50 Гц подаются непрерывно);

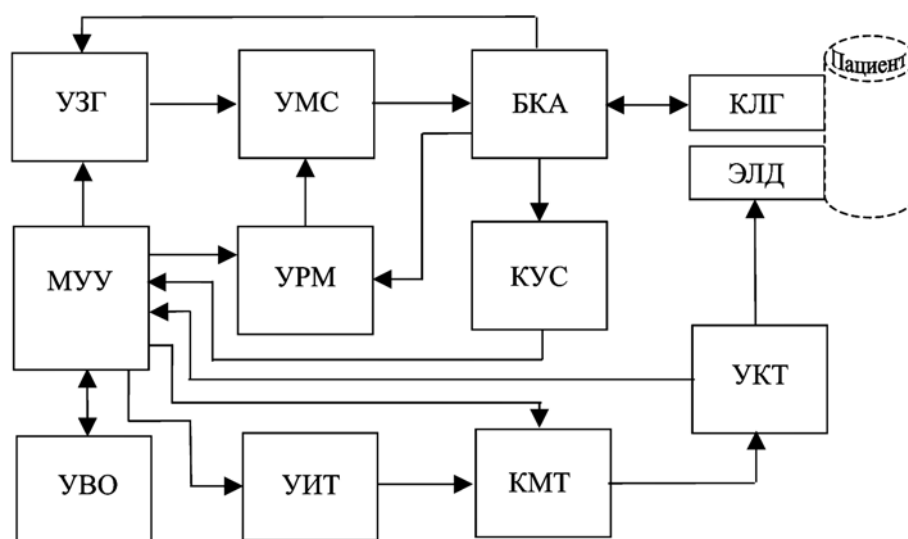


Рис. 1. Структурная схема аппарата для фоноэлектротерапии (пояснения – в тексте)

3 – диадинамический ток частотой 100 Гц положительной полярности (ток «двухтактный непрерывный» или «двухполупериодный непрерывный», когда импульсы частотой 100 Гц подаются непрерывно);

4 – немодулированные колебания частотой 5000 Гц положительной и отрицательной полярности;

5 – непрерывные синусоидальные модулированные колебания положительной и отрицательной полярности (несущая частота – 5000 Гц, глубина модуляции – 100 %, частота модуляции – 100 Гц);

6 – чередование посылок тока, модулированного частотой 100 Гц, с посылками немодулированного тока (несущая частота – 5000 Гц, глубина модуляции – 25 %, длительность посылки модулированной частотой 100 Гц – 2 с, длительность посылки немодулированного тока – 3 с);

7 – чередование посылок тока с разными частотами модуляции (несущая частота – 5000 Гц, глубина модуляции – 100 %, длительность посылки модулированной частотой 50 Гц – 1 с, длительность посылки модулированной частотой 150 Гц – 1 с);

8 – чередование посылок тока с разными частотами модуляции (несущая частота – 5000 Гц, глубина модуляции – 50 %, длительность посылки 4 с при модуляции частотой 100 Гц, длительность посылки 6 с при модуляции частотой 150 Гц).

Номинальная частота электрического тока, соответствующая режиму электротерапии, отображается на индикаторе «Частота». Номинальная частота равна нулю для терапии гальваническим током. Параметры токов, генерируемые разработанным аппаратом, соответствуют применяемым сегодня в электротерапии и реализованным в серийно выпускаемых приборах «Поток», «Амплипульс», «Тонус» и др. [10]. Аппарат позволяет установить десять значений амплитуды электрического тока в интервале от 0 до 20 мА.

Кнопкой «Мощн» устанавливается код ультразвуковой выходной мощности излучения на единицу площади (код интенсивности) и амплитуда электрического тока (в миллиамперах). Эффективная интенсивность ультразвукового излучения устанавливается с учетом площади излучающей поверхности ЛГ.

После ввода режимов излучения аппарат автоматически проводит подготовительные процедуры контроля и настройки. После запуска процедуры нажатием кнопки «Пуск/стоп» аппарат начинает формировать ультразвуковой сигнал установленной мощности в соответствии с установленным режимом излучения и электрический ток заданного значения, при этом начинается обратный отсчет таймера длительности процедуры. Проводится постоянный контроль акустического контакта лечебной головки с пациентом и величины тока; при нарушении контакта или, если акустическое или электрическое сопротивление контакта не позволяет обеспечить требуемую мощность ультразвукового излучения в нагрузку (пациента) и требуемый ток, аппарат формирует световой и звуковой сигналы отсутствия контакта для оповещения пациента и обслуживающего персонала. Отсчет времени экспозиции при этом не ведется.

В отличие от существующих аппаратов комплексной терапии, например «COMBIMED» серии 2000 [11], которые позволяют одновременно проводить процедуры ультразвуковой и электротерапии с использованием двух отдельных излучателей – ультразвуковой головки и пары электродов, в разработанном аппарате излучение ультразвука и подача электрических токов выполняются одной комбинированной лечебной головкой и одним электродом. Это позволяет сосредоточить воздействие обоих лечебных факторов в одной области тела пациента, что реально обеспечивает принцип сочетанного воздействия. Кроме того, в отличие от существующих аппаратов для комбинированной терапии, в которых используется высокочастотный ультразвук, в данном аппарате излучение ультразвука производится на низкой частоте, которая глубоко проникает в ткани, обладает более выраженным воздействием, проявляет большую форетическую активность [4].

Технические испытания экспериментального образца аппарата продемонстрировали его безопасность и соответствие воздействующих физических факторов заданным параметрам.

Комплекс выполненных экспериментальных и медико-технических исследований позволил разработать и практически реализовать новый физиотерапевтический метод одновременного (сочетанного) воздействия ультразвука и различных видов электрических токов (фоноэлектротерапия), а также предложить аппарат для практической реализации метода.

#### Список литературы:

1. Боголюбов В.М., Улащик В.С. Комбинирование и сочетание лечебных физических факторов // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2004. № 5. С. 39-46.
2. Комарова Л.А., Егорова Г.И. Сочетанные методы аппаратной физиотерапии и бальнеотеплолечения. – СПб.: Издательство СПб МАПО, 1994.
3. Лецинский А.Ф., Улащик В.С. Комплексное использование лекарственных средств и физических лечебных факторов при различной патологии. – Киев: Здоровье, 1989.
4. Улащик В.С. Очерки общей физиотерапии. – Минск: Наука и техника, 1994.
5. Улащик В.С. Физиотерапия. Новейшие методы и технологии / Справочное пособие. – Минск: Книжный дом, 2013.
6. Морозова И.Л., Улащик В.С., Счастливая Н.И., Климович О.В. Обезболивающее действие ультразвука: зависимость от параметров и условий применения // Новости медико-биологических наук. 2016. Т. 14. № 4. С. 42-48.
7. Улащик В.С., Счастливая Н.И., Морозова И.Л. Действие ультразвука и электрических токов на воспалительный процесс и болевую чувствительность экспериментальных животных // Новости медико-биологических наук. 2015. Т. 12. № 4. С. 199-204.
8. Дедович Н.Н., Романов А.Ф., Улащик В.С. и др. Ультразвуковой терапевтический аппарат / Патент РБ на полезную модель № 4832.
9. Дедович Н.Н., Романов А.Ф., Улащик В.С. Аппарат для низкочастотной ультразвуковой терапии // Медицинская техника. 2017. № 2. С. 45-48.
10. Физиотерапия. Национальное руководство / Под ред. Г.Н. Пономаренко. – М.: ГЭОТАР – Медиа, 2009.
11. Продукция фирмы EME FISIO [электронный ресурс] / <http://en.eme-physio.com/product-category/combined-equipment>.

*Николай Николаевич Дедович,  
научный сотрудник,  
Анатолий Филиппович Романов,  
канд. техн. наук, зав. лабораторией,  
НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ,  
Владимир Сергеевич Улащик,  
д-р мед. наук, профессор,  
академик НАН Беларуси,  
гл. научный сотрудник,  
Институт физиологии НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь,  
e-mail: Ramanau\_a@mail.ru*