На правах рукописи

УСАНОВА АНАСТАСИЯ ДМИТРИЕВНА

ВЛИЯНИЕ ФОНОСТИМУЛЯЦИИ ПРИ ВИЗУАЛЬНОМ СОПРОВОЖДЕНИИ НА ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ СЕРДЕЧНОСОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ, ПАРАМЕТРЫ ДЫХАНИЯ, БИОЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ АКТИВНОСТЬ МОЗГА ЧЕЛОВЕКА

03.01.02 — Биофизика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

САРАТОВ — 2011

Работа выполнена на кафедре медицинской физики
Саратовского государственного университета им. Н.Г. Чернышевского.

Научный руководитель:	профессор, доктор физико-математических наук Скрипаль А.В.
Официальные оппоненты:	профессор, доктор медицинских наук Бугаева И.О.
	профессор, доктор физико-математических наук Ульянов С.С.
Ведущая организация:	Институт радиотехники и электроники РАН, Саратовский филиал, г. Саратов

Защита диссертации состоится «14» декабря 2011 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д. 212.243.05 в Саратовском государственном университете им. Н.Г. Чернышевского по адресу: 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83.
С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке СГУ им. В.А. Артисевич.

Автореферат разослан «10» ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор В.Л. Дербов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

Звук и музыка использовались в течение столетий во многих культурах для достижения направленного изменения состояния сознания. Истоки аудиовизуальной стимуляции (АВС) уходят в глубокую древность. Еще Пифагор проводил лечение больных фотостимуляцией, создаваемой вращением с различной скоростью колеса со спицами, расположенного между огнем и пациентом. Аналогично воздействуют шаманы, ритмично ударяя в бубен и двигаясь возле костра. Барабанный бой, скандирования, многие звуки окружающей среды, такие как ветер, дождь, шум водопада, прибоя вызывают эмоциональные образы и ассоциации.

В настоящее время светозвуковые системы успешно используются для лечения алкогольной и наркотической зависимости. Например, известный терапевт, доктор Томас Будзински, специализирующийся в области биологической обратной связи, обнаружил, что у пациентов, лечившихся от зависимости от транквилизаторов (бензодиазепинов), при градиентном снижении дозы препаратов, проявления абстинентного синдрома были значительно слабее, если они один раз в день получали светозвуковую стимуляцию, особенно если последняя была выдержана в тета диапазоне частот головного мозга.

Положительный опыт применения АВС как в качестве базового, так и вспомогательного метода получен при терапии кардионеврозов, гипертензивных состояний, а также для коррекции текущего эмоционального фона специалистов, деятельность которых сопряжена с чрезмерным психоэмоциональным напряжением и даже витальной угрозой, в частности в подразделениях МВД.

Воздействию различных режимов аудиовизуальной стимуляции подвергается в повседневной жизни каждый человек. В театре, кино, при просмотре телевизионных программ, на дискотеках используются ритмичные цветомузыкальные воздействия; водители воспринимают в процессе движения мелькания прерывистой разделительной полосы. Люди инстинктивно стремятся к аудиовизуальной стимуляции природными факторами, например, сосредоточиваются на бликах пламени костра, свечи или камина (визуальная стимуляция), звуках, воспроизводимых потрескиванием дров в костре, шуме водопада (аудиостимуляция). Спектральный состав этих воздействий схож с ритмом мозга, находящемся в спокойном, расслабленном состоянии (так называемое «альфа-состояние» с доминированием частот в диапазоне от 8 до 12 Гц). В целях релаксации может быть также использована АВС, включающая прослушивание записи со звуками природы и одновременное воздействие световой стимуляцией с частотой альфа-ритма и тета-ритма.

Задача определения и создания условий, при которых осуществляется максимально полная реализация адаптивных возможностей, в значительной степени может быть решена с помощью нейросенсорной терапии, важной составляющей которой является аудиовизуальная стимуляция. Технология

АВС дает ни с чем несравнимую возможность контролировать психоэмоциональное состояние без медикаментов, без воздействия посторонних установок и внушений и без формирования зависимости.

Целенаправленное формирование уровня мозговой активности (активации/торможения) позволяет использовать АВС как в качестве профилактического средства, обеспечивающего повышение адаптационного резерва механизмов защиты от эмоциональных и психосоциальных нагрузок, а также оптимизации адаптивных реакций непосредственно в процессе экстремальных воздействий, так и в качестве достаточно эффективного средства в комплексной терапии и реабилитации психосоматических больных. АВС позволяет воздействовать на эмоциональную компоненту психосоматического заболевания. Для проведения АВС используются приборы, генерирующие световые и звуковые сигналы, которые воздействуют через зрительный и слуховой анализаторы с вовлечением в процесс корковых, лимбических структур и ретикулярной формации головного мозга человека. Однако до сих пор не существовало методов АВС, реализующих возможность однозначной идентификации звукового ряда по визуальному сопровождению. Следовательно ранее не представлялось возможным проведение экспериментальных исследований степени влияния фоностимуляции при визуальном сопровождении на деятельность сердечнососудсистой системы, амплитуду и частоту дыхательных движений и сердечных сокращений, скорость распространения пульсовой волны (СРПВ), на биоэлектрическую активность мозга. Логично предположить, что метод АВС, основанный на согласованном одновременном воздействии комбинацией звукового и визуального стимулов, мог бы иметь наиболее высокий уровень эффективности.

На основе вышесказанного была сформулирована **цель диссертационной работы:** проведение исследования возможности повышения степени влияния фоностимуляции при условии визуального сопровождения звукового ряда на деятельность сердечнососудистой системы и биоэлектрическую активность мозга человека, параметры дыхания, скорость распространения пульсовой волны с помощью программного обеспечения (ПО), реализующего возможность визуализации музыкального произведения; разработка принципиально нового способа визуализации музыкального произведения, реализующего возможность более качественного восприятия музыки, разработка способа ритмической АВС; анализ влияния ритмической аудиостимуляции, ритмической визуальной и ритмической аудиовизуальной стимуляций по данным электрокардиограммы (ЭКГ), электроэнцефалограммы (ЭЭГ), в ходе биометрического мониторинга физиологических параметров человека.

В задачи исследования входило следующее:

1. Разработка программного комплекса, с помощью которого можно реализовать возможность однозначной идентификации звукового ряда (музыкального произведения) по визуальному сопровождению.
2. Разработка программного комплекса, реализующего возможность рит-

мической АВС с модуляцией по частоте (частота фоностимуляции совпадает с частотой подачи световых стимулов - прерывистый звуковой сигнал с частотой от 2Гц до 20Гц с шагом в 2 Гц (выбранный диапазон укладывается в оптимально различимый для слуха диапазон до 400Гц)), громкости и яркости цветового стимула.

3. Исследование влияния фоностимуляции при условии визуального сопровождения звукового ряда на деятельность сердечнососудистой системы, амплитуду и частоту дыхательных движений и сердечных сокращений, скорость распространения пульсовой волны и биоэлектрическую активность мозга человека.

4. Исследование влияния ритмической аудиостимуляции (АС), ритмической визуальной стимуляции (ВС) и ритмической АВС на биоэлектрическую активность мозга человека.

Новизна исследований, проведенных в ходе диссертационной работы, состоит в следующем:

- Впервые реализован принципиально новый способ визуализации музыкального произведения, обеспечивающий возможность однозначной идентификации звукового ряда по визуальному сопровождению в реальном времени, способствуя повышению качества восприятия музыки.
- Экспериментально подтвержден эффект повышения степени влияния музыки/звукового ряда посредством визуального сопровождения на деятельность сердечнососудистой системы и биоэлектрическую активность мозга человека в ходе регистрации данных электрокардиограммы, электроэнцефалограммы, в ходе биометрического мониторинга физиологических параметров человека, скорости распространения пульсовой волны, периодических смещений грудной клетки, характеризующих движения человека, связанные с дыханием и сердцебиением (дыхательные движения и сердечные сокращения).
- Впервые исследован эффект зависимости степени влияния на биоэлектрическую активность мозга человека звукового стимула от частоты (несущая частота, модулирующая в диапазоне от 2 до 20 Гц), громкости звукового стимула, визуальной стимуляции от частоты и яркости цветового стимула, ритмической аудиовизуальной стимуляции от частоты, громкости звукового стимула и яркости цветового стимула по данным ЭЭГ.
- Выявлен диапазон частот максимального отклика биоэлектрической активности мозга на ритмическую ВС и АВС 10-12 Гц, при котором регистрируются наиболее значительные изменения в биоэлектрической активности мозга, в том числе наибольшее снижение спектральной мощности альфа-ритма и увеличение спектральной мощности бета-ритма. Показано, что диапазон частот 10-12 Гц обеспечивает максимальный уровень качества восприятия/степени влияния звукового ряда с помощью визуального сопровождения.
- В ходе анализа влияния ритмической ВС и АВС на параметры ЭЭГ были

определены максимальные частоты, регистрируемые на ЭЭГ при воздействии разными цветовыми стимулами (красным, зеленым и синим цветами). Было установлено, что при стимуляции красным цветом на ЭЭГ выявлена частота с максимальной амплитудой спектральной составляющей 12,4 Гц, при этом регистрируется увеличение мощности бета-ритма, что свидетельствует об активации симпатического отдела вегетативной нервной системы. При стимуляции зеленым цветом на ЭЭГ выявлена частота с максимальной амплитудой спектральной составляющей 12 Гц, синим – 11,3 Гц, при этом при ВС зеленым и синим стимулами было зарегистрировано незначительное увеличение спектральной мощности альфа-ритма.

- Установлено, что цветовой стимул с более высоким коэффициентом насыщенности вызывает больший отклик на параметры ЭЭГ обследуемых.
- Было показано, что наиболее значительные изменения в биоэлектрической активности мозга вызывает фоностимуляция звуковым стимулом максимальной громкости.
- Установлено, что при аудиовизуальной стимуляции у обследуемых наблюдаются изменения характера ЭКГ и ее спектра, проявляющиеся в изменении длительности соответствующих участков электрокардиограммы и их амплитудных значений, а также амплитуды шумовой составляющей ЭКГ, при этом аудиовизуальное воздействие приводит к увеличению шумовых составляющих спектра ЭКГ, а также к значительному сдвигу частоты сердцебиения.
- Показано, что наблюдается различная величина изменения частоты сердцебиений в результате звуковой, визуальной, визуально-звуковой стимуляций, при этом наиболее значительный сдвиг ЧСС наблюдался именно при АВС так, что эффект от аудиовизуального воздействия существенно превышал суммарный эффект от воздействия звуком и цветом в отдельности.
- В ходе биометрического мониторинга физиологических параметров человека: периодических смещений грудной клетки, характеризующих движения человека, связанные с дыханием и сердцебиением (дыхательные движения и сердечные сокращения), с использованием СВЧ-автодина на диоде Ганна установлено, что эффект от аудиовизуального воздействия на дыхательные движения превышает эффект от раздельного воздействия на данные параметры звуком и цветом, при этом интересно отметить, что наибольший отклик на регистрируемые параметры контроля имела композиция с наиболее выраженной ритмической составляющей, эффект от аудиовизуального воздействия на сердечные сокращения превышал суммарный эффект от раздельного воздействия звуком и цветом.
- В ходе экспериментальных исследований влияния визуально-звуковой стимуляции на СРПВ было зарегистрировано наиболее значительное увеличение СРПВ в случае воздействия звуком и цветом одновременно – при АВС, при этом эффект от АВС существенно превышал даже суммарный эффект от воздействия звуком и цветом в отдельности.

Достоверность экспериментальных результатов обеспечена применением стандартной измерительной аппаратуры, обработкой экспериментальных данных с помощью современных методов с использованием ЭВМ:

- электрокардиографа «Полиспектр 8/12»,
- электроэнцефалографа «Нейрон-Спектр-5» на основе ПО “СПЭГ-НСФТ”,
- установки для регистрации СРПВ (установки для диагностики упруговязких свойств с блоком ЭКГ «Волготех 8/12-01»),
- установки для биометрического мониторинга физиологических параметров человека (СВЧ-автодина на диоде Ганна).

Практическая значимость полученных результатов:

Предложен принципиально новый способ визуализации музыкального произведения, позволяющий получать однозначную идентификацию звукового ряда по визуальному сопровождению в реальном времени, реализующий возможность более качественного восприятия музыки, защищенный двумя патентами (Патент на изобретение РФ № 2295376. Способ воспроизведения музыкального произведения в цвете / Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Борисов А.И., Скрипаль А.В. Опубл. 20.03.2007. Бюл. №8., Свидетельство об официальной регистрации программы РФ А.с. №2007610999 Цветомузыкальный центр (цветомузыка) / Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Борисов А.И. Заявл. 06.03.07.) и апробированный при организации развлекательных мероприятий в г. Саратове.

Разработанный способ визуальной реализации музыки может быть использован с целью расширения адаптационных возможностей слабослышащих людей, а также для повышения качества восприятия музыки.

Положения, выносимые на защиту:

1. При аудиостимуляции (АС) выявлено менее значительное снижение амплитуды альфа-ритма, чем при визуальной стимуляции (ВС), а аудиовизуальная стимуляция (АВС) приводит к большему снижению амплитуды альфа-ритма по сравнению со звуковой стимуляцией и визуальной стимуляцией в отдельности.
2. Изменения длительности кардиоинтервалов наблюдаются чаще во время АВС, чем в ходе ВС и АС. Для всех обследуемых во время аудиовизуального воздействия было зафиксировано уменьшение времени между S-T-экстремумами, существенное изменение амплитуды шумовой составляющей ЭКГ. Наиболее значительный сдвиг ЧСС наблюдался при аудиовизуальном воздействии, при этом эффект от АВС существенно превышал суммарный эффект от стимуляции звуком и цветом в отдельности.
3. Ритмическая АВС в сравнении со звуковой и визуальной стимуляциями приводит к большему сдвигу параметров, характеризующих биоэлектрическую активность мозга человека. При стимуляции красным цветом на ЭЭГ выявлена частота с максимальной амплитудой спектральной составляющей 12,4 Гц, при стимуляции зеленым цветом - 12 Гц, синим - 11,3 Гц, при этом

при стимуляции красным цветом регистрируется увеличение мощности бета-ритма, что свидетельствует об активации симпатического отдела вегетативной нервной системы. Выявлен диапазон частот максимального отклика на ритмическую АВС 10-12 Гц, при котором регистрируются наиболее значительные изменения в биоэлектрической активности мозга, в том числе наибольшее снижение спектральной мощности альфа-ритма и увеличение спектральной мощности бета-ритма.

4. Эффект АВС на амплитуду дыхательных движений и сердечных сокращений превышает суммарный эффект от визуальной стимуляции и звуковой стимуляции в отдельности. В ходе исследований влияния визуально-звуковой стимуляции на скорость распространения пульсовой волны (СРПВ) было зарегистрировано наиболее значительное увеличение СРПВ в случае комплексного воздействия звуковым и цветовым стимулами, при этом эффект от АВС существенно превышал суммарный эффект от воздействия звуком и цветом в отдельности.

5. Предложен алгоритм, позволяющий поставить в соответствие частоты звукового ряда и цветовые характеристики, и разработана программа для ЭВМ по его реализации. Исследовано аудиовизуальное воздействие по разработанному алгоритму на основные характеристики жизнедеятельности биообъекта.

Апробации работы. Работа выполнена на кафедре медицинской физики Саратовского государственного университета в период с 2008 по 2011 гг. Часть диссертационной работы проводилась в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы. ГК П711.

Основные положения и достигнутые в ходе выполнения диссертационной работы результаты **отмечались** медалями и премиями конкурсов, салонов и выставок инноваций и инвестиций Международного и Всероссийского уровня, среди которых 3 спецприза, 2 гранта, 2 премии, 4 золотых, 8 серебряных, 4 бронзовых медали Международных выставок-салонов инноваций и др.

Личный вклад соискателя выразился в постановке основных задач исследований, обосновании методов их решения, разработке алгоритмов и проведении экспериментальных измерений, участии в формулировании научных выводов.

Публикации. По материалам исследований, опубликовано 25 научных работ, в том числе статьи в реферируемых журналах, включая 2 публикации в журналах списка ВАК, центральных научно-технических журналах, патент на изобретение РФ, свидетельство об официальной регистрации программы и 21 публикация в сборниках трудов и тезисов научных конференций, выставок и салонов изобретений республиканского, всероссийского и международного уровня.

Диссертация состоит из введения, пяти разделов, имеющих подразделы, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 162 страницы машинописного текста, включая 21 рисунок, 16 таблиц. Список литературы содержит 119 наименований и изложен на 12 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертации, сформулирована цель работы, приведены основные положения, выносимые на защиту, описана структура и объем работы.

В первом разделе диссертации описана специфика восприятия человеком звуковых и визуальных стимулов, а также проведен критический анализ современных исследований, посвященных изучению влияния аудиостимуляции, визуальной стимуляции и АВС на физиологическое и психоэмоциональное состояние человека. Здесь же определены основные проблемы, изученные недостаточно и требующие дальнейших исследований.

Во втором разделе приведены алгоритм и описание разработанного программного комплекса, реализующего принципиально новый способ визуализации музыкального произведения, позволяющий поставить в соответствие аудио- и визуальный ряды друг другу и получать однозначную идентификацию звукового ряда по визуальному сопровождению в реальном времени, обеспечивающие возможность более качественного восприятия музыки.

Разработанный программный комплекс позволяет оператору:

- управлять цветовыми характеристиками визуального стимула, что необходимо при исследовании эффекта качества восприятия музыки;
- задавать звуковой ряд с заданной комбинацией частот непосредственно пользователем;
- воспроизводить готовые музыкальные файлы формата midi с визуальным сопровождением в реальном времени.

Отдельно приведены сведения о программном обеспечении, необходимом для решения задачи ритмической АВС с модуляцией по частоте, громкости звукового стимула, яркости цветового стимула. Разработанная программа позволяет оператору:

- устанавливать любые дискретные значения частоты в пределах рабочего диапазона, что необходимо при исследовании эффекта зависимости степени влияния на пациента звукового стимула от частоты (частота изменялась в диапазоне от 2 до 20 Гц),
- устанавливать громкость звукового стимула, что необходимо при исследовании зависимости степени влияния на пациента звукового стимула от громкости,

- управлять цветовыми характеристиками визуального стимула, что необходимо при исследовании эффекта зависимости степени влияния на пациента визуального стимула от яркости.

В разделе также приведен алгоритм соответствия нотам цветовых характеристик.

В третьем разделе приведены результаты исследования зависимости степени влияния на пациента ритмической фоностимуляции от частоты (промодулированной в диапазоне от 2 до 20 Гц) и громкости, результаты исследования степени влияния на биоэлектрическую активность мозга пациента ритмической цветовой стимуляции в зависимости от частоты, от яркости цветового стимула, результаты исследований зависимости степени влияния на пациента ритмической аудиовизуальной стимуляции от частоты, громкости звукового стимула, яркости цветового стимула, результаты исследований влияния на биоэлектрическую активность мозга обследуемых фоностимуляции с помощью музыкального произведения, цветовой стимуляции с помощью визуального решения, соответствующего данному музыкальному произведению, аудиовизуальной стимуляции, осуществляемой с помощью специально разработанного программного обеспечения.

На рис. 1 представлена зависимость амплитуды альфа-ритма в правом и левом полушарии, нормированной к фону, от времени для одного пациента в ходе цветовой, звуковой и визуально-звуковой стимуляции с помощью комплекса для визуальной реализации музыки.

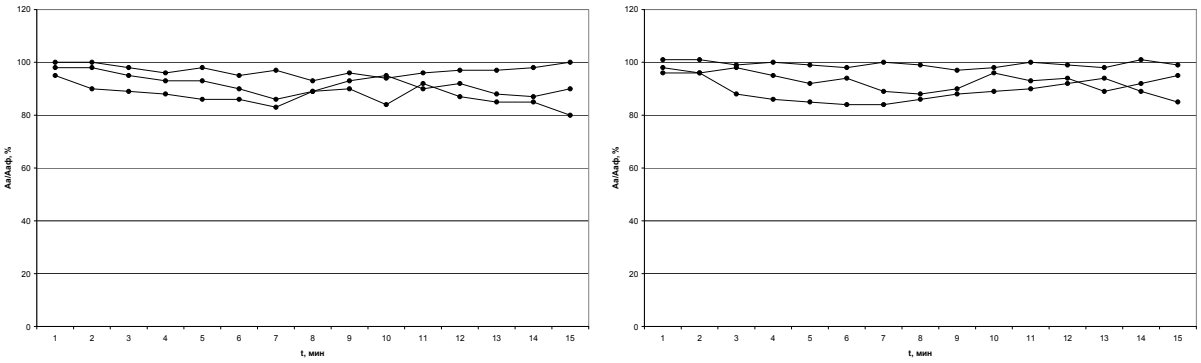


Рисунок 1. График зависимости амплитуды альфа-ритма в правом и левом полушарии, нормированной к фону, от времени для одного пациента в ходе: фоностимуляции (верхняя кривая), ВС (средняя кривая) и АВС (нижняя кривая)

Во всех отведениях после воздействия цветом, звуком и визуально-звукового воздействия наблюдалось уменьшение спектральной мощности альфа-ритма. Мощность в левом и правом полушарии в затылочных областях до воздействия в среднем составила соответственно 99,5±21,4 мкВ² и 119,7±23,3 мкВ², в теменных областях мощность альфа-ритма составила в среднем 39±10,7 мкВ² и 46,8±11,7 мкВ². После фоностимуляции мощность альфа-ритма в затылочных областях составила в среднем: до 95,4±18,6 мкВ² в левом и 117,8±22,1 мкВ² в правом полушарии, в теменных — до 33,7±8,8

мкВ² и 42,9±7,4 мкВ², после ВС: мощность альфа-ритма в затылочных областях составила в среднем: до 91,9±15,7 мкВ² в левом и 115,9±21,5 мкВ² в правом полушарии, в теменных — до 31,4±6,8 мкВ² и 39,7±8,8 мкВ². После АВС мощность альфа-ритма оказалась сниженной в затылочных областях: до 85,5±18,9 мкВ² в левом и 113,6±21,9 мкВ² в правом полушарии, в теменных — до 25,4±7,4 мкВ² и 35±6,9 мкВ². При этом после фоностимуляции и АВС было также выявлено нарастание бета-активности.

Проведен сравнительный анализ откликов физиологического и эмоционального состояния на звуковой, визуальный и визуально-звуковой стимулы по данным ЭЭГ в ходе ритмической АС, ВС и АВС.

Распределение частотной спектральной мощности ЭЭГ для одного обследуемого после ритмической АС, ВС и АВС на частоте 10 Гц с использованием красного стимула и ноты “до” представлено на рис. 2.

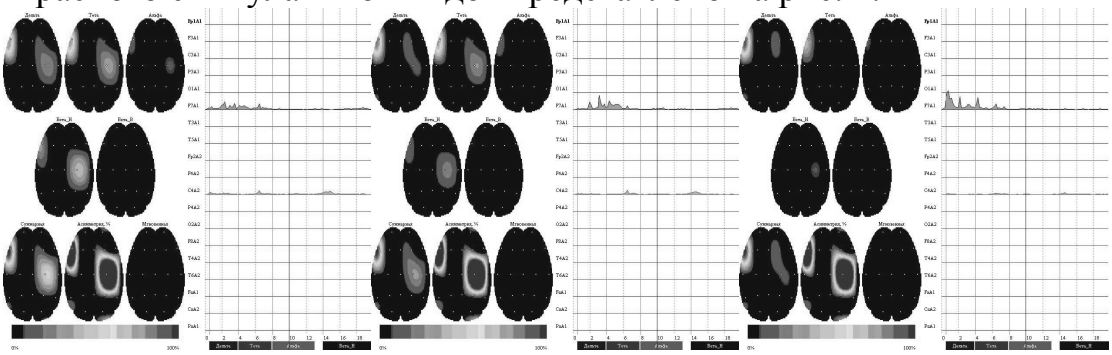


Рисунок 2. Распределение частотной спектральной мощности ЭЭГ для красного стимула и ноты “до” при частоте 10 Гц после ритмической АС, ВС и АВС

Было установлено, что максимальная амплитуда альфа-ритма в левом полушарии в отсутствии воздействий в среднем составила: 98±13,8 мкВ, в правом: 83±14,5 мкВ, при стимуляции звуком в левом полушарии в среднем: 91±11,6 мкВ, в правом: 67±9,8 мкВ, при стимуляции цветом в левом полушарии в среднем: 85±15,4 мкВ, в правом: 60±17,7 мкВ, при стимуляции цветом и звуком одновременно в левом полушарии в среднем: 68±10,4 мкВ, в правом: 41±9,3 мкВ.

Впервые выявлен диапазон частот 10 Гц-12 Гц, обеспечивающий максимальный уровень качества восприятия/степени влияния АС, ВС и АВС. Т.о. показано, что наиболее значительный эффект влияния регистрируется именно на частотах 10 Гц-12 Гц.

Были определены частоты с максимальной амплитудой спектральной составляющей, регистрируемые на ЭЭГ при воздействии разными цветовыми стимулами (красным, зеленым и синим цветами). Было установлено, что при стимуляции красным цветом на ЭЭГ выявлена частота с максимальной амплитудой спектральной составляющей 12,4 Гц, при этом регистрируется увеличение мощности бета-ритма, что свидетельствует об активации симпатического отдела вегетативной нервной системы. При стимуляции зеленым цветом была выявлена частота с максимальной амплитудой спектральной составляющей 12 Гц, синим – 11,3 Гц, при этом при ВС зеленым и синим сти-

мулами было зарегистрировано незначительное увеличение спектральной мощности альфа-ритма.

Установлено, что только звуковая стимуляция оказывала наименьшее влияние на биоэлектрическую активность мозга испытуемых по сравнению с визуальным и аудиовизуальным воздействиями, при этом эффект от воздействия звуком и цветом одновременно превышал эффект от воздействия данных стимулов в отдельности, что позволяет сделать вывод о возможности применения визуального сопровождения звукового ряда с целью повышения качества восприятия звука.

Установлено, что цветовой стимул с более высоким коэффициентом насыщенности вызывает больший отклик на биоэлектрическую активность мозга, параметры ЭЭГ обследуемых. В ходе исследования влияния громкости фоностимуляции на параметры ЭЭГ обследуемых было установлено, что наиболее значительные изменения в биоэлектрической активности мозга вызывает фоностимуляция звуковым стимулом максимальной громкости.

Таким образом, результаты, полученные в ходе регистрации данных ЭЭГ, подтверждают эффект повышения степени влияния/качества восприятия музыки/звукового ряда посредством визуального сопровождения.

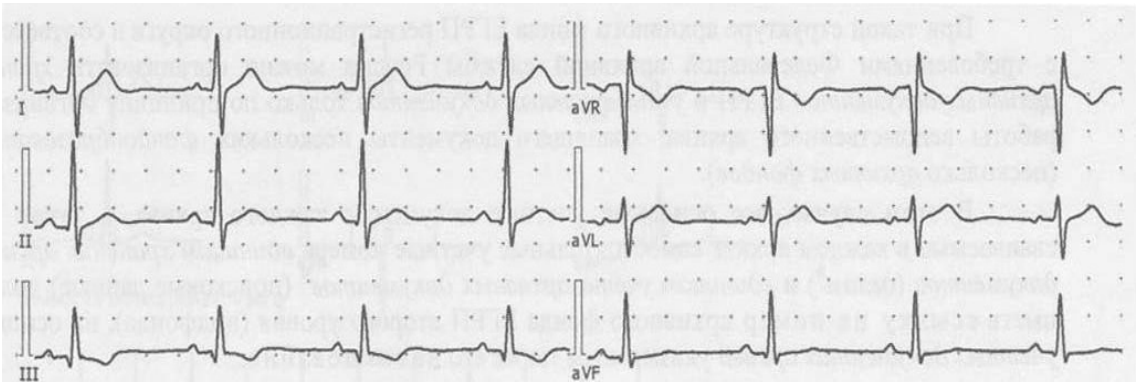
В четвертом разделе проведен сравнительный анализ степени влияния на физиологическое и эмоциональное состояние человека визуального, звукового и визуально-звукового воздействий по данным ЭКГ. В ходе исследований фиксировались формы электрокардиосигнала и его спектр, индексы Баевского до и в момент воздействия. Для этого осуществлялась запись электрокардиограммы компьютерным электрокардиографом «Полиспектр 8/12», разработанным фирмой «Нейрософт» (г. Иваново). Кардиограф подключался к компьютеру, что позволяло следить за параметрами электрокардиограммы (ЭКГ) при воздействии на пациента АВС. В таблице 1 приведены значения параметров, характеризующих сердечнососудистую деятельность, для одного обследуемого в ходе АВС и в ее отсутствии, при ВС и АС.

Таблица 1

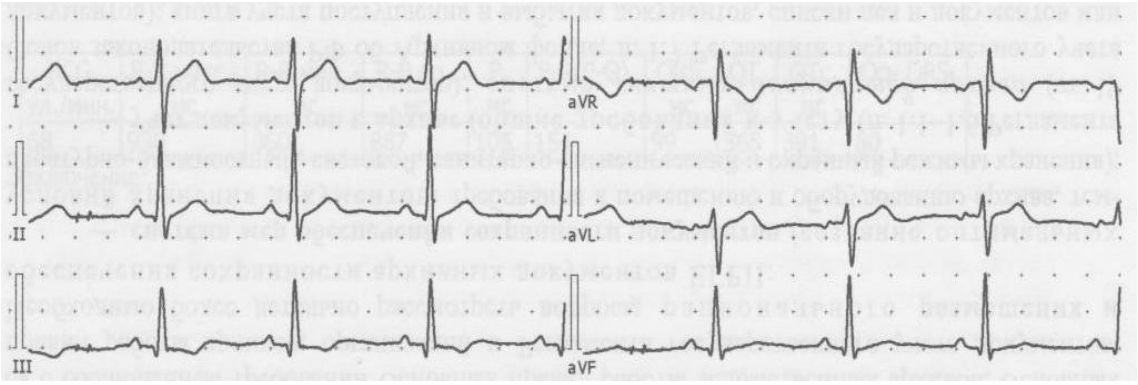
Значения параметров, характеризующих сердечнососудистую деятельность, для одного обследуемого в ходе ВС, АС, АВС и в отсутствии воздействия

	ЧСС, уд./мин	R-R макс., мс	R-R мин., мс	R-R ср., мс	P, мс	P-R (P-Q), мс	QRS, мс	QT, мс	QTc, мс	Ось QRS, °
без возд.	70	880	838	860	103	151	100	366	395	81
ВС	72	860	784	830	105	150	102	364	400	83
АС	73	892	752	826	92	126	86	374	412	85
АВС	77	828	738	782	93	12	86	372	421	86

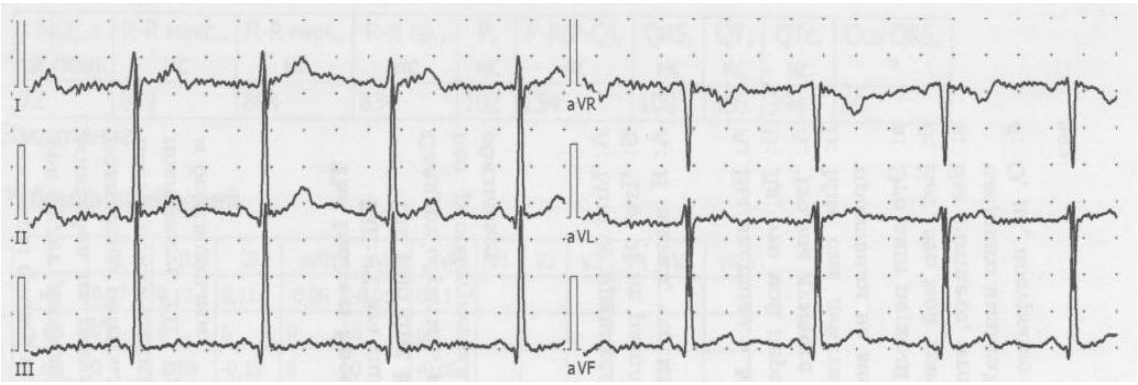
На рис. 3 представлены ЭКГ до и в ходе АС, ВС и АВС.



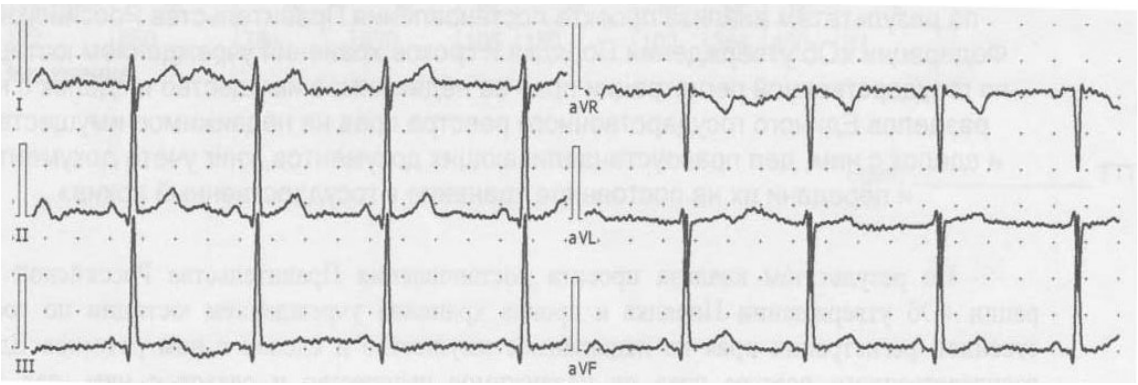
а



б



в



г

Рисунок 3. ЭКГ: а – в отсутствии воздействия, б –в ходе ВС, в- в ходе АС, г – в ходе АВС для I, II, III, aVR, aVL, aVF - отведений

Как видно из рис. 3, формы электрокардиограмм, зафиксированных для пациентов во время АВС, отличаются от аналогичных ЭКГ в ходе АС, ВС и без воздействия. В частности, у обследуемых пики R-R кардиоинтервалов

наблюдаются чаще во время АВС, чем в ходе ВС и без воздействия. Для всех пациентов во время визуально-звукового воздействия было зафиксировано уменьшение времени между S-T-экстремумами. Изменялась также и форма самого кардиосигнала, что свидетельствует об измененном характере формирования электрических биопотенциалов в сердечной мышце.

На рисунках 4 и 5 представлены спектрограммы и ритмограммы для одного обследуемого в ходе ВС, АС и АВС. Из результатов, приведенных на рис. 4 и рис. 5, следует, что во время визуально-звукового воздействия, наблюдается существенное изменение амплитуды шумовой составляющей ЭКГ.

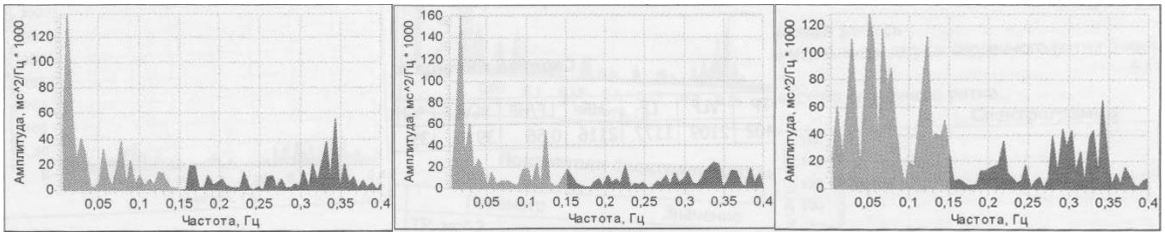


Рисунок 4. Спектрограммы для одного обследуемого в ходе ВС, АС и АВС

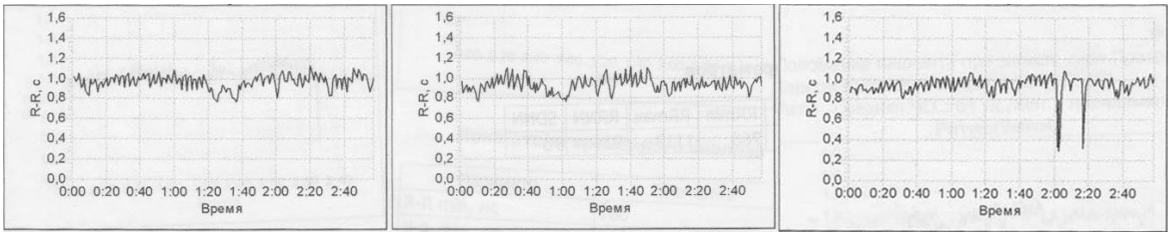


Рисунок 5. Ритмограммы для одного обследуемого в ходе ВС, АС и АВС

При прослушивании музыки или наблюдении визуального решения регистрировалось изменение (увеличение за редким исключение для ВС и увеличение для АС) ЧСС на 1-2 уд./мин и на 4-5 уд./мин соответственно, при АС и ВС одновременно ЧСС увеличивалась в среднем на 8-9 уд./мин. Важно также отметить, что наиболее значительный сдвиг ЧСС наблюдался именно при аудиовизуальном воздействии, при этом эффект от АВС существенно превышал суммарный эффект от АС и ВС в отдельности.

Установлено, что при аудиовизуальной стимуляции у обследуемых наблюдаются изменения характера ЭКГ и ее спектра, проявляющиеся в изменении длительности соответствующих участков электрокардиограммы и их амплитудных значений, а также амплитуды шумовой составляющей ЭКГ, при этом аудиовизуальное воздействие приводит к увеличению шумовых составляющих спектра ЭКГ, а также к значительному сдвигу частоты сердцебиения. Результаты, полученные в ходе регистрации данных ЭКГ, подтверждают эффект повышения степени влияния/качества восприятия музыки/звукового ряда посредством визуального сопровождения.

Приведены результаты исследований влияния на СРПВ обследуемых фоностимуляции с помощью музыкального произведения, цветовой стимуляции с помощью визуального решения, соответствующего данному музы-

кальному произведению, аудиовизуальной стимуляции, осуществляемой с помощью специально разработанного программного обеспечения. Проведен сравнительный анализ степени влияния на физиологическое и эмоциональное состояние человека визуального, звукового и визуально-звукового воздействий по данным установки для регистрации СРПВ «Волготех 8/12-01».

Динамические параметры, отражающие СРПВ, определялись стандартным методом кардиоинтервалографии (КИГ), при этом осуществлялась запись электрокардиопотенциалов (ЭКГ). В качестве аппарата ЭКГ 6 (рис. 6) применялся аппарат ЭКГ «Волготех 8/12-01», при этом одно из его отведений использовали в качестве линейного входа для измерительного блока 4-6, к входу которого подключалась стандартная пневматическая манжетка 2.

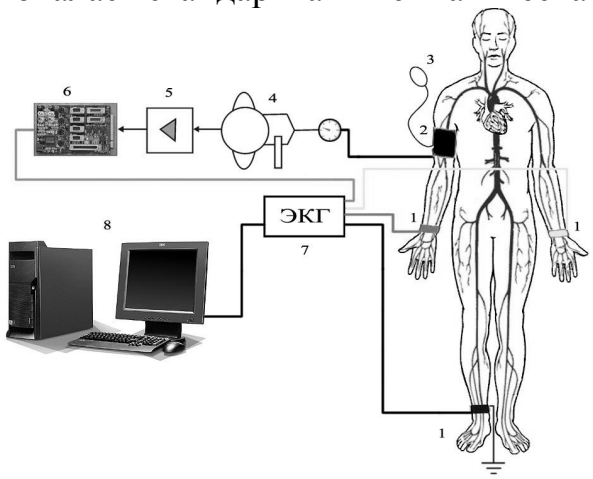


Рисунок 6. Установка для диагностики упруговязких свойств: 1 – электроды ЭКГ; 2 – пневматическая манжетка; 3 – нагнетатель; 4 – пневматический датчик; 5 – усилитель; 6 – преобразователь; 7 – блок ЭКГ «Волготех 8/12-01»; 8 – компьютер

Для реализации методики используется компактный адаптер-разветвитель, который также возможно подключить к любому электрокардиографу серии Поли-Спектр. Подключение адаптера не препятствует регистрации стандартных отведений ЭКГ. Измерительный блок представляет собой усилитель 5, к входу которого подключен медицинский пневматический датчик фирмы Motorola MPX 2050 DP. Датчик работал на основе тензоэффекта и имел два дифференцированных входа, это необходимо для повышения чувствительности схемы и постоянного контроля давления в манжетке. С помощью преобразователя 6 осуществлялось соединение с отведением аппарата ЭКГ 7, последний подключался к компьютеру через COM–порт. Программа для обработки сигналов позволяла представить графически сигнал ЭКГ.

В ходе регистрации СРПВ было установлено, что среднее значение скорости распространения пульсовой волны для пациентов составило ≈100 см/с, после ВС значение СРПВ не изменилось, после АС оно составило ≈103 см/с, после АВС: 108 см/с. Таким образом, из приведенных результатов следует, что в ходе экспериментальных исследований влияния аудиовизуальной сти-

муляции на СРПВ было зарегистрировано наиболее значительное увеличение СРПВ в случае воздействия звуком и цветом одновременно – при АВС, при этом эффект от визуально-звукового превышал суммарный эффект от воздействия звуком и цветом в отдельности. Результаты, полученные в ходе регистрации СРПВ, подтверждают эффект повышения качества восприятия/степени влияния музыки/звукового ряда посредством визуального сопровождения.

В пятом разделе приведены результаты исследований влияния на периодические смещения грудной клетки обследуемых, характеризующие движения человека, связанные с дыханием и сердцебиением (дыхательные движения и сердечные сокращения), с использованием СВЧ-автодина на диоде Ганна фоностимуляции с помощью музыкального произведения, цветовой стимуляции с помощью визуального решения, соответствующего данному музыкальному произведению, аудиовизуальной стимуляции, осуществляемой с помощью специально разработанного программного обеспечения, реализующего способ визуальной реализации музыки. Внешний вид выносного датчика автодина, снабженного рупорной антенной, представлен на рис. 7.

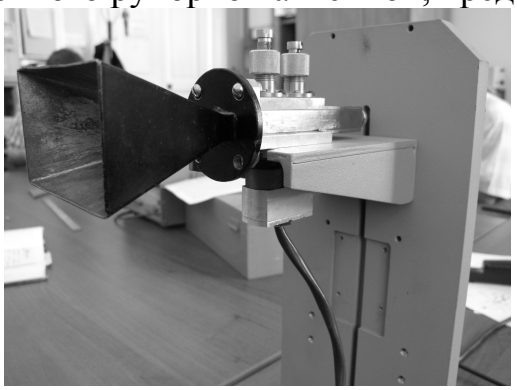
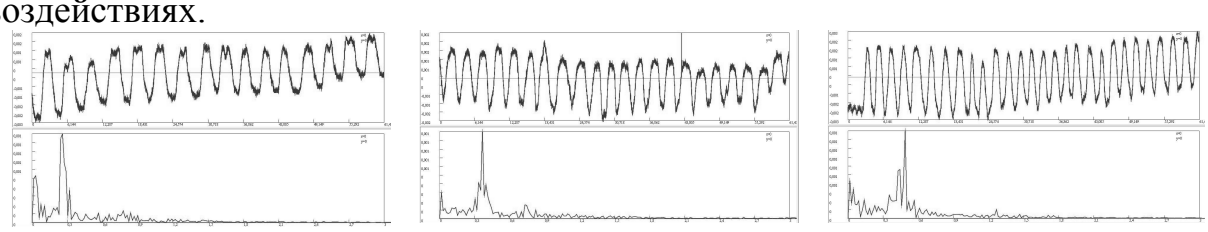


Рисунок 7. Внешний вид выносного датчика автодина, снабженного рупорной антенной

На рис. 8 представлена зависимость автодинного сигнала от времени при движении грудной клетки вследствие сердечных сокращений и его спектральное представление при визуальном, звуковом и визуально-звуковом воздействиях.



а б в

Рисунок 8. Зависимость автодинного сигнала от времени при движении грудной клетки вследствие сердечных сокращений и его спектральное представление при визуальном (а), звуковом (б)
и визуально-звуковом воздействиях (в)

В таблице 2 приведены средние значения частоты и амплитуды дыхательных движений и сердечных сокращений до воздействия, после визуального, звукового и визуально-звукового воздействий.

Таблица 2

Средние значения частоты и амплитуды дыхательных движений и сердечных сокращений до воздействия, после визуальной стимуляции, аудиостимуляции и АВС

параметр	до возд.-я	после ВС	после АС	после АВС
частота дыхательных движений $f_{äûõ}$, взд./мин.	10,99	15,56	21,97	29,3
амплитуда движений грудной клетки вследствие дыхательных движений $\xi_{äûõ}$, мм	4,96	3,9	2,69	2
частота сердечных сокращений $f_{ñåðä}$, уд./мин	63,6	65,4	76	79
амплитуда движений грудной клетки вследствие сердечных сокращений $\xi_{серд}$, мм	0,35	0,33	0,29	0,26

Из данных, приведенных в таблице 2 следует, что эффект от аудиовизуального воздействия на дыхательные движения превышает эффект от раздельного воздействия на данные параметры звуком и цветом, эффект от аудиовизуального воздействия на сердечные сокращения превышал суммарный эффект от раздельного воздействия звуком и цветом. Результаты, полученные в ходе регистрации дыхательных движений и сердечных сокращений, подтверждают эффект повышения качества восприятия музыки/звукового ряда посредством визуального сопровождения.

На рис. 9 изображена лепестковая диаграмма, которая подтверждает наибольшее изменение параметров, характеризующих физиологической состояние человека при визуально-звуковом воздействии, при этом изменения всех параметров за исключением спектральной мощности альфа-ритма в правом полушарии при визуально-звуковом воздействии превышают алгебраическую сумму изменений данных параметров при визуальном и звуковом воздействиях. Мелким пунктиром (100%) обозначены значения СМ альфаритма в левом и правом полушариях, ЧСС, ЧД, СРПВ до воздействия; пунктиром с двумя точками – при визуальном воздействии, пунктиром с точкой –

при звуковом воздействии, размытой сплошной линией – результат суммирования визуального и звукового воздействий, сплошной линией - при визуально-звуковом воздействии.

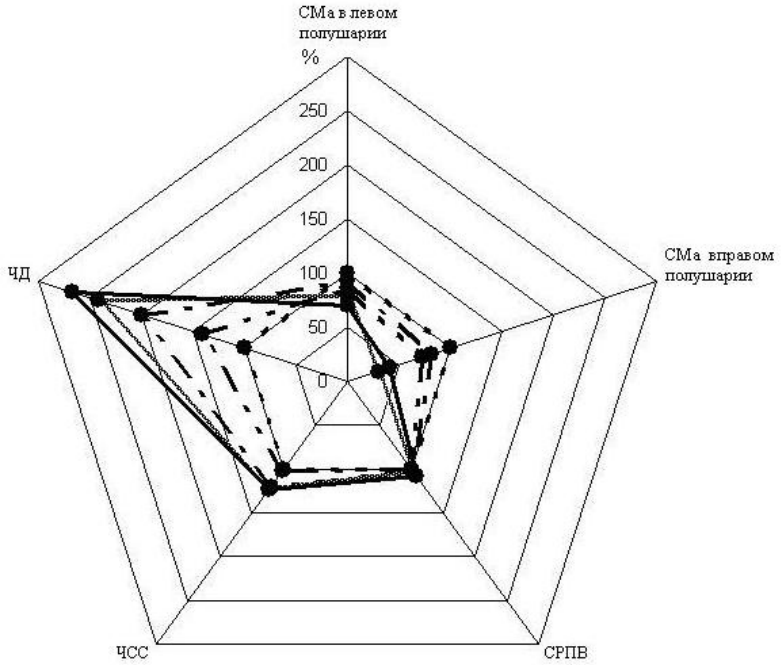


Рисунок 9. График изменения параметров спектральной мощности альфа-ритма (СМ), ЧСС, частоты дыхания (ЧД), СРПВ при визуальном воздействии, при звуковом воздействии, при суммарном визуальном и звуковом воздействии и при визуально-звуковом воздействии

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, и выводы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ:

1. Предложен новый алгоритм воспроизведения музыкального произведения в цвете, позволяющий поставить в соответствие аудио- и визуальный ряды друг другу и реализующий принцип однозначной идентификации музыки по визуальному сопровождению.
2. Разработан программный комплекс, реализующий новый способ визуализации музыкального произведения, позволяющий получать однозначную идентификацию звукового ряда по визуальному сопровождению в реальном времени, обеспечивающего возможность более качественного восприятия музыки.
3. Установлено, что только звуковая стимуляция оказывала наименьшее влияние на биоэлектрическую активность мозга испытуемых по сравнению с визуальным и аудиовизуальным воздействиями, при этом эффект от воздействия звуком и цветом одновременно превышал эффект от воздействия данных стимулов в отдельности, что позволяет сделать вывод о возможности применения визуального сопровождения звукового ряда с целью повышения качества восприятия звука.

4. Разработано программное обеспечение, необходимое для решения задачи ритмической АВС с модуляцией по частоте, громкости звукового стимула, яркости цветового стимула.
5. Выявлен диапазон частот максимального отклика на ритмическую АС, ВС и АВС 10-12 Гц. Показано, что воздействие ВС и АВС в диапазоне частот (10-12 Гц) обеспечивает максимальный уровень качества восприятия/степени влияния звукового ряда с помощью визуального сопровождения.
6. В ходе анализа влияния ритмической ВС и АВС на параметры ЭЭГ были определены максимальные частоты, регистрируемые на ЭЭГ при воздействии разными цветовыми стимулами (красным, зеленым и синим цветами). Было установлено, стимуляции красным цветом на ЭЭГ выявлена частота с максимальной амплитудой спектральной составляющей 12,4 Гц, при стимуляции зеленым цветом - 12 Гц, синим - 11,3 Гц, при этом при стимуляции красным цветом регистрируется увеличение мощности бета-ритма, что свидетельствует об активации симпатического отдела вегетативной нервной системы.
7. Установлено, что цветовой стимул с более высоким коэффициентом насыщенности вызывает больший отклик на биоэлектрическую активность мозга, параметры ЭЭГ обследуемых.
8. В ходе исследования влияния громкости фоностимуляции на параметры ЭЭГ обследуемых было установлено, что наиболее значительные изменения в биоэлектрической активности мозга вызывает фоностимуляция звуковым стимулом максимальной громкости.
9. Установлено, что при аудиовизуальной стимуляции у обследуемых наблюдаются изменения характера ЭКГ и ее спектра, проявляющиеся в изменении длительности соответствующих участков электрокардиограммы и их амплитудных значений, а также амплитуды шумовой составляющей ЭКГ, при этом аудиовизуальное воздействие приводит к увеличению шумовых составляющих спектра ЭКГ, а также к значительному сдвигу частоты сердцебиения.
10. Показано, что наблюдается различная величина изменения частоты сердцебиений в результате звуковой, визуальной, визуально-звуковой стимуляций, при этом наиболее значительный сдвиг ЧСС наблюдался именно при АВС так, что эффект от аудиовизуального воздействия существенно превышал суммарный эффект от воздействия звуком и цветом в отдельности.
11. В ходе биометрического мониторинга физиологических параметров человека: периодических смещений грудной клетки, характеризующих движения человека, связанные с дыханием и сердцебиением (дыхательные движения и сердечные сокращения), с использованием СВЧ-автодина на диоде Ганна установлено, что эффект от аудиовизуального воздействия на дыхательные движения превышает эффект от раздельного воздействия на данные параметры звуком и цветом, при этом интересно отметить, что наибольший отклик на регистрируемые параметры контроля имела композиция с наиболее выраженной ритмической составляющей, эффект от аудиовизуального

воздействия на сердечные сокращения превышал суммарный эффект от раздельного воздействия звуком и цветом.
12. В ходе экспериментальных исследований влияния визуально-звуковой стимуляции на СРПВ было зарегистрировано наиболее значительное увеличение СРПВ в случае воздействия звуком и цветом одновременно, при этом эффект от АВС существенно превышал даже суммарный эффект от воздействия звуком и цветом в отдельности.

В приложении приведен текст программы, реализующей способ воспроизведения музыкального произведения в цвете. Данная программа позволяет получать визуальное сопровождение проигрываемой мелодии.

Основные результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

1. Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Скрипаль А.В. Анализ влияния цветомузыкального воздействия на параметры сердечно-сосудистой деятельности человека // Медицинская техника, 2009. №2 (254). С. 45-51.
2. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Анализ влияния ритмического визуально-звукового воздействия на параметры электроэнцефалограммы // Вестник СГТУ, 2011. №1 (53), вып. 2. С. 208-211.
3. Патент на изобретение РФ № 2295376. Способ воспроизведения музыкального произведения в цвете / Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Борисов А.И., Скрипаль А.В. Опубл. 20.03.2007. Бюл. №8.
4. Свидетельство об официальной регистрации программы РФ А.с. №2007610999 Цветомузыкальный центр (цветомузыка) / Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Борисов А.И. Заявл. 06.03.07.
5. Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Борисов А.И. Цветомузыкальный центр – Первый Саратовский салон изобретений, инноваций и инвестиций (Техноэкспо 2005). – Саратов: Изд-во ВЦ «Софит-Экспо», 2005. С. 20-21.
6. Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Борисов А.И. Цветомузыкальный центр – Молодые ученые Саратовской области: Тез. науч. работ студ. М75 высших учеб. Заведений Сарат. Обл. – участников обл. конкурса “Студенческая наука 2006”. – Саратов: Изд.-во Сарат. ун.-та, 2006. С.18-20.
7. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Цветомузыкальное воздействие – Каталог тезисов проектов научно-технических коллективов молодых ученых, аспирантов и студентов (СКИБ, СКБ, СНО, молодежных научно-инновационных центров, студенческих лабораторий и др.). – М.: РГУИТП, 2006. С. 141-143.
8. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Цветомузыкальное воздействие – Сборник материалов Всероссийского конкурса инновационных проектов аспирантов и студентов по приоритетному направлению развития науки и техники “Информационно-телекоммуникационные системы”. – Санкт-Петербург, 2006. С. 179.
9. Усанова Л.Д. Цветомузыкальный комплекс – Всероссийская конференция “Электроника 2006”. 30 ноября 2006 г. – М.: МИЭТ, 2006. С. 64.

10. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Цветомузыкальный комплекс – Каталог тезисов научных работ, представленных на 3-й Всероссийской конференции студентов и аспирантов. 4-6 декабря 2006 г. – М.: РГУИТП, 2006. С. 27-31.
11. Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Скрипаль А.В. Цветомузыкальный центр – Каталог Московского международного салона промышленной собственности “Архимед”: – М., 2007. С. 251-252.
12. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Визуальная реализация музыки – Всероссийская конференция “Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине”. 23-25 мая 2007 г. – Саратов: Изд.-во Сарат. ун.-та, 2007. С. 67-69.
13. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Цветомузыка – Каталог тезисов научных работ, представленных на XV международной студенческой школе-семинаре "Новые информационные технологии". – М.: МИЕМ, 2007. С. 210.
14. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Разработка способа визуальной реализации музыки – Каталог тезисов научных работ, представленных на 4-й Всероссийской конференции студентов и аспирантов. 26-30 ноября 2007 г. – М.: РГУИТП, 2007. С. 42-43.
15. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Визуализация музыки – Молодые ученые Саратовской области: Тез. науч. работ студ. М75 высших учеб. заведений Сарат. обл. – участников обл. конкурса “Студенческая наука 2007”. – Саратов: Изд.-во Сарат. ун.-та, 2007. С.121-123.
16. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Анализ влияния цветомузыкального воздействия на параметры сердечно-сосудистой системы человека – Всероссийская конференция “Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине” 3-5 июля 2008 г. – Саратов: Изд.-во Сарат. ун.-та, 2008. С.57-59.
17. Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Скрипаль А.В. Способ воспроизведения музыкального произведения в цвете – IV Международный салон изобретений и новых технологий “Новое время”. 25-27 сентября 2008 г. – Севастополь, Украина, 2008. С. 96-97.
18. Усанова А.Д. Способ визуализации музыкального произведения – Каталог XI Конкурса бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов “Молодые. Дерзкие. Перспективные”. 19 ноября 2008 г. – Санкт-Петербург, 2008. С. 46.
19. Усанова Л.Д., Усанова А.Д. Диагностика параметров сердечнососудистой системы человека и электроэнцефалограммы при цветомузыкальном воздействии с помощью методов обработки биомедицинских изображений – Всероссийская конференция “Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине”. 1-3 июля 2009 г. – Саратов: Изд.-во Сарат. ун.-та, 2009. С. 101-102.
20. Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Скрипаль А.В. Диагностика параметров жизнедеятельности человека при цветомузыкальном воздействии – VI Международный салон изобретений и новых технологий “Новое время”. 24-26 сентября 2009 г. – Севастополь, Украина, 2009. С. 223.
21. Усанова А.Д., Усанова Л.Д. Способ визуальной реализации музыкального произведения – “Всероссийская молодежная выставка-конкурс прикладных исследований, изобретений и инноваций”. 27-28 октября 2009 г. – Саратов: Изд.-во Сарат. ун.-та, 2009. С. 222.

22. Усанова А.Д., Усанова Л.Д. Разработка способа визуальной реализации музыки – Каталог XII Конкурса бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов “Молодые. Дерзкие. Перспективные” – Санкт-Петербург, 2009.
23. Усанова А.Д., Усанова Л.Д. Разработка способа визуальной реализации музыки – Ползуновский альманах №3/2009 том 2 – Барнаул: АлтГТУ, 2009. С. 77-80.
24. Усанова А.Д., Усанова Л.Д. Разработка способа визуальной реализации музыки – Каталог XIII Конкурса бизнес-идей, научно-технических разработок и научно-исследовательских проектов “Молодые. Дерзкие. Перспективные”. 28 сентября 2010 г. – Санкт-Петербург, 2010. С. 101.
25. Усанова Л.Д., Усанова А.Д., Кащавцев Е.О. Анализ влияния ритмического визуально-звукового воздействия на параметры электроэнцефалограммы человека – Всероссийская конференция “Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине”. 9-11 ноября 2010 г. – Саратов: Изд.-во Сарат. ун.-та, 2010. С. 107-110.

Подписано в печать 28.10.11 г.
Формат 60x84/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс New Roman Cyr. Объем – 1 печ. л.
Тираж 100. Заказ № 252-Т

Отпечатано в типографии
Саратовского государственного университета имени Н.Г. Чернышевского
410012, Саратов, Б. Казачья, 112 а
(8452) 273385