

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»

УДК 615.831.7;615.832.1

ВОРОБЕЙ
Анастасия Владимировна

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА ПРИ
ВОЗДЕЙСТВИИ ИНФРАКРАСНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЧЕЛОВЕКА

АВТОРЕФЕРАТ
на соискание степени
магистра технических наук

1-23 80 08 – Психология труда, инженерная психология, эргономика

Магистрант А.В. Воробей

Научный руководитель
М. М. Меженная, кандидат
технических наук, доцент

Заведующий кафедрой ИПиЭ
К.Д. Яшин, кандидат технических
наук, доцент

Минск 2020

Работа выполнена на кафедре инженерной психологии и эргономики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

Меженная Марина Михайловна,
кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной психологии и эргономики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент:

Азаров Илья Сергеевич,
доктор технических наук, доцент кафедры электронных вычислительных средств, заведующий кафедрой электронных вычислительных средств учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «23» июня 2020 г. года в 15⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 2 уч.корп., ауд. 610, тел.: 293-89-92, e-mail: kafipie@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Инфракрасная (ИК) терапия может осуществляться посредством прогревания человека в инфракрасной кабине (сауне) или путем локального облучения участков тела человека инфракрасными излучателями. Первое направление особенно актуально в лечении и реабилитации: посредством воздействия на весь организм человека достигается активация обменных процессов, ускорение метаболизма в тканях, выведение токсинов за счет усиленного потоотделения.

Площадь и зона облучения, а также интенсивность и спектральный состав ИК излучения определяют результирующий терапевтический эффект. Большинство современных ИК кабин реализуют длинноволновое воздействие на тело человека, вызывая повышение температуры верхних слоев кожи, в то время как для глубинного прогрева тканей рекомендуется использовать коротковолновые источники ИК излучения. Следует также отметить, что существующие ИК кабины не имеют системы контроля физиологических параметров человека, что не позволяет согласовать тепловую нагрузку с индивидуальным функциональным состоянием пользователя. Перегрев организма может вызывать резкое увеличение показателей температуры, давления, пульса, что накладывает ограничения на использование инфракрасных саун при сердечной недостаточности, стенокардии, повышенном артериальном давлении.

Для устранения вышеописанных недостатков авторами Тхостов М.Х.-М., Осипов А.Н., Меженная М.М., Драпеза В.Ю., Воробей А.В. была разработана эффективная мобильная безопасная инфракрасная (ИК) кабина с биотехнической обратной связью для восстановления человеческого организма. Разработанная ИК кабина снабжена системой мониторинга биопараметров и параметров теплового режима внутри кабины.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В современной медицине инфракрасная (ИК) терапия широко используется для лечения кожных болезней (угревая сыпь, экзема, атопический дерматит, аллергическая кожная сыпь), хирургических заболеваний (трофические язвы, пролежни, ожоги), болезней опорно-двигательного аппарата (растяжение связок, пяточная шпора, ушибы и травмы суставов, вывихи, артрозы и артриты, миозиты, спортивные травмы), патологии ЛОР-органов (ринит, фронтит, тонзиллит, отит, ларингит). Современный уровень развития технологий позволяет совершенствовать медицинскую технику, при этом перспективной является разработка лечебно-диагностических комплексов с функцией управления параметрами воздействия исходя из физиологических характеристик биообъекта.

Интерес к исследованию воздействия ИК-излучения на физиологические параметры пользователя обусловлен использованием ИК-кабин в качестве профилактических и оздоровительных процедур для человека, в особенности, для пожилых людей с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является установление эффективного режима воздействия инфракрасного (ИК) излучения на организм человека в лечебной и оздоровительной практике, а также разработка алгоритма биотехнической обратной связи в ранее разработанной, авторами (М.Х-М. Тхостов, А.Н. Осипов, М.М. Меженная, В.Ю. Драпеза, А.В. Воробей) инфракрасной кабине по результатам исследований.

Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

1. Разработать методику исследования воздействия ИК-излучения на физиологические параметры человека при различных режимах работы ИК кабины, а также критерии оценки эффективности воздействия инфракрасного излучения на организм человека.
2. Экспериментально установить эффективный режим воздействия инфракрасного излучения на организм человека для его реализации в разработанной ИК кабине.
3. Разработать алгоритм биотехнической обратной связи в инфракрасной кабине по результатам исследований.

Объектом исследования являются физиологические параметры пользователя ИК кабины при различных параметрах ИК воздействия.

Предметом работы выступает влияние технического и методического обеспечения воздействия ИК излучения на организм человека посредством разработанной ИК кабины на функциональное состояние пользователя.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-23 80 08 «Психология труда, инженерная психология, эргономика».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и зарубежных ученых в области разработки ИК-кабин.

Научная новизна диссертационной работы заключается в установке эффективного режима воздействия инфракрасного (ИК) излучения на организм человека в лечебной и оздоровительной практике, а также разработке алгоритма биотехнической обратной связи.

Теоретическая значимость диссертации заключается в том, что на основе предложенного эффективного режима воздействия инфракрасного (ИК) излучения на организм человека и алгоритма реализации эффективного режима возможна оценка эффективности проведения физиотерапевтических

процедур.

Практическая значимость диссертации состоит в том, что предложенный эффективный режим воздействия ИК-излучения на организм человека позволяет сделать разработанную ИК-кабину безопасной и эффективной, с точки зрения прогревания, для организма человека.

Апробация и внедрение результатов исследования

Отдельные положения диссертации, в частности эффективный режим воздействия инфракрасного (ИК) излучения на организм человека в лечебной и оздоровительной практике, а также алгоритм биотехнической обратной связи, используются при преподавании курса «Управление техническими проектами».

Публикации

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в девяти опубликованных работах, в том числе в двух журналах, входящих в перечень ведущих периодических изданий ВАК.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, и библиографического списка. Общий объем диссертации – 60 страниц. Работа содержит 3 таблицы, 34 рисунка. Библиографический список включает 30 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы прогревания человека в инфракрасной кабине, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются биофизические аспекты ИК-излучения и существующие устройства инфракрасной терапии.

Дана краткая характеристика о диапазонах ИК-излучения и о самом инфракрасном излучении, а также о лечебном эффекте ИК-излучения на организм человека.

Рассмотрены существующие современные устройства инфракрасной терапии.

Инфракрасная (ИК) кабина предназначена для быстрого, эффективного и глубокого внутреннего прогрева организма человека инфракрасным (тепловым) излучением до интенсивного потоотделения. Она имеет широкое

применение в оздоровительной, лечебной и спортивной практике, а также удобна для использования в быту.

Недостатками аналогов являются:

1. Высокая рабочая температура ИК кабины (свыше 50°C),
2. Отсутствие контроля за состоянием физиологических показателей пользователя,
3. Высокое потребление мощности при проведении ИК терапии (более 900 кВт),
4. Преимущественно сидячее положение пользователя при проведении ИК терапии.

Во второй главе приведено методическое и техническое обеспечение исследований воздействия инфракрасного излучения на организм человека.

Коллективом авторов (М.Х-М. Тхостов, А.Н. Осипов, М.М. Меженная, В.Ю. Драпеза, А.В. Воробей) разработана инновационная инфракрасная кабина с биотехнической обратной связью, решающая задачу повышения эффективности и безопасности физиотерапевтической процедуры ИК прогревания.

Установлено, что по сравнению с существующими аналогами разработанная ИК кабина обладает следующими преимуществами:

1) Коротковолновой диапазон инфракрасного излучения (0,75-1,5 мкм) обеспечивает максимальную глубину проникновения ИК излучения в ткани человеческого организма.

2) Низкий рабочий диапазон температур ИК кабины (40-42°C) по сравнению с существующими аналогами (Harvia, WELLNES, Uborg и др.: более 45°C). Это позволяет расширить сферу применения ИК терапии за счет устранения ограничений на использование ИК кабин у пользователей с сердечно-сосудистыми заболеваниями.

3) Низкое энергопотребление: потребляемая мощность ИК кабины составляет 0,4 кВт/ч, что значительно ниже по сравнению с аналогами (не менее 0,9 кВт/ч).

4) Мониторинг физиологических показателей пользователя позволяет получить диагностическую информацию о текущем функциональном состоянии человека и использовать эту информацию для автоматического управления параметрами ИК процедуры, начиная от регулировки температурных режимов и заканчивая полным прекращением процедуры при необходимости.

5) Мобильность: конструкция ИК кабины и ее вес позволяют проводить оздоравливающие тепловые процедуры как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях.

Также приведена методика проведения исследований воздействия инфракрасного излучения на организм человека. Пользователь располагается в горизонтально расположенной ИК кабине. На теле пользователя фиксируются датчики температуры, пульса и давления для контроля физиологических параметров. Далее выполняется включение ИК кабины и

датчиков теплового режима. В течение каждого этапа пользователь находится в ИК кабине, выполняется регистрация параметров теплового режима, а также физиологических показателей человека. До начала и после окончания исследования измеряется вес пользователя для оценки интенсивности потоотделения, что является косвенным показателем эффективности процедуры ИК терапии.

Для мониторинга состояния пользователя в реальном режиме времени в программной среде Excel приведен пример формирования профиля биомедицинских параметров пользователя. Профиль позволяет оценить состояние пользователя по трем температурным параметрам (температура человека в области лба, в области живота и в подмышечной впадине) и артериальному давлению.

В **третьей главе** представлены результаты исследований воздействия инфракрасного излучения на физиологические параметры человека.

Для исследования воздействия ИК-излучения на физиологические параметры человека были проведены три серии экспериментов.

В первой серии экспериментов приняло участие 8 человек (7 мужчин, 1 женщина, средний возраст испытуемых 21 год). Суммарное время разогрева ИК кабины и ИК прогревания каждого испытуемого составило 20 минут, при этом температура окружающей среды равнялась 22°C.

Во второй серии экспериментов участвовало 10 человек (7 мужчин и 3 женщины, средний возраст испытуемых 22 года). Суммарное время разогрева ИК кабины и ИК прогревания каждого испытуемого составило 30 минут, при этом температура окружающей среды равнялась 17°C.

В третьей серии экспериментов участвовало 6 человек (5 мужчин, 1 женщина, средний возраст испытуемых составил 22 года). Суммарное время разогрева ИК кабины и ИК прогревания каждого испытуемого составило 50 минут, при этом температура окружающей среды составляла 21°C.

По каждой серии экспериментов представлен пример результирующих температурных показателей, показателей пульса, верхнего и нижнего давления испытуемых, а также проведен анализ результирующих показателей.

Для оценки эффективности режима воздействия ИК излучения на организм человека предложен коэффициент (K), равный отношению потери веса пользователя ΔW к максимальной рабочей температуре воздуха в ИК кабине на уровне тела человека $T_{\max}^{\text{air_near_body}}$. То есть, при большой потере веса пользователя, максимальная рабочая температура воздуха в ИК-кабине должна не превышать отметки 42°C.

На основании проведенных исследований были сформулированы следующие выводы:

- 1) Эффективное прогревание человека происходит при рабочих температурах воздуха внутри ИК кабины (на уровне тела человека) в интервале от 40°C до 42°C (коэффициент (K) оценки эффективности режима воздействия ИК излучения на организм человека в третьем эксперименте

составил достиг наибольшего значения). Такой температурный режим уже способствует интенсивному потоотделению, но еще не приводит к дискомфортным ощущениям и нежелательной нагрузке на сердечно-сосудистую систему.

2) Началом ИК прогревания следует считать момент выхода ИК кабины на рабочую температуру 40°C. Время разогрева зависит от температуры окружающей среды.

3) Длительность процедуры собственно ИК прогревания (без учета разогрева кабины) определяется врачом, при этом рекомендуемой является длительность в 30 минут.

4) На основании мониторинга показателей теплового режима ИК кабины необходимо автоматически поддерживать внутри нее температурный режим от 40°C до 42°C во время периода ИК прогревания.

5) Контроль состояния физиологических параметров пользователя при проведении ИК терапии и автоматическая корректировка мощности ИК излучателей позволит сделать процедуру ИК прогревания безопасной для пользователей.

Экспериментальная апробация установила эффективный режим воздействия инфракрасного излучения на организм человека, который составил основу алгоритма биотехнической обратной связи в инфракрасной кабине. В процессе проведения терапевтической процедуры осуществляется автоматическая корректировка параметров воздействия на основе мониторинга физиологических показателей пользователя.

Во время мониторинга физиологических показателей пользователя характер изменения таких биопараметров как: пульс, артериальное давление, температура тела человека на лбу, температура воздуха в области головы, температура тела человека в области живота, температура тела человека в области подмышек, температура воздуха в области туловища человека, свидетельствует о происходящих в организме естественных адаптивных процессах терморегуляции. При этом ИК кабина с биотехнической обратной связью позволяет исключить переход в режим перегрузки и насыщения, критерием наступления которого является превышение показателями допустимых величин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ воздействия инфракрасного излучения на физиологические параметры человека посредством разработанной ИК-кабины.

В результате исследования выявлено, что по теме воздействия ИК излучения на физиологические параметры человека имеется большое количество работ. Проанализированные статьи свидетельствуют об актуальности темы, и указывают на высокий интерес к изучению ИК излучения и его влияния на организм.

Перед выполнением работы были рассмотрены диапазоны инфракрасного излучения (коротковолновой, средневолновой, длинноволновой), современные устройства воздействия низкоинтенсивным ИК излучением и их технические характеристики.

Установлены следующие недостатки:

1. Высокая рабочая температура ИК кабины,
2. Отсутствие контроля за состоянием физиологических показателей пользователя,
3. Высокое потребление мощности при проведении ИК терапии,
4. Преимущественно сидячее положение пользователя при проведении ИК терапии.

Коллективом авторов (М.Х-М. Тхостов, А.Н. Осипов, М.М. Меженная, В.Ю. Драпеза, А.В. Воробей) была разработана инновационная инфракрасная кабина с биотехнической обратной связью, решающая задачу повышения эффективности и безопасности физиотерапевтической процедуры ИК прогревания.

Максимальный физиотерапевтический эффект достигается за счет использования ИК излучателей коротковолнового диапазона, обеспечивающих наибольшую глубину проникновения ИК излучения в ткани человеческого организма.

Для исследования воздействия ИК-излучения на физиологические параметры человека были проведены три серии экспериментов.

Для оценки эффективности режима воздействия ИК излучения на организм человека предложен коэффициент (K), равный отношению потери веса пользователя ΔW к максимальной рабочей температуре воздуха в ИК кабине на уровне тела человека $T_{max}^{air_near_body}$.

Проведенные исследования воздействия ИК излучением на организм человека показали, что:

1) Эффективное прогревание человека происходит при рабочих температурах воздуха внутри ИК кабины (на уровне тела человека) в интервале от 40°C до 42°C (коэффициент (K) оценки эффективности режима воздействия ИК излучения на организм человека в третьем эксперименте составил достиг наибольшего значения). Такой температурный режим уже способствует интенсивному потоотделению, но еще не приводит к дискомфортным ощущениям и нежелательной нагрузке на сердечно-сосудистую систему.

2) Началом ИК прогревания следует считать момент выхода ИК кабины на рабочую температуру 40°C. Время разогрева зависит от температуры окружающей среды.

3) Длительность процедуры собственно ИК прогревания (без учета разогрева кабины) определяется врачом, при этом рекомендуемой является длительность в 30 минут.

4) На основании мониторинга показателей теплового режима ИК кабины необходимо автоматически поддерживать внутри нее температурный режим от 40°C до 42°C во время периода ИК прогревания.

5) Контроль состояния физиологических параметров пользователя при проведении ИК терапии и автоматическая корректировка мощности ИК излучателей позволит сделать процедуру ИК прогревания безопасной для пользователей.

Экспериментальное обоснование эффективного режима воздействия инфракрасного излучения на организм человека составило основу алгоритма биотехнической обратной связи в инфракрасной кабине.

В основу алгоритма биотехнической обратной связи для управления воздействием ИК излучения на организм человека положены два информационных канала – данные с датчиков теплового режима и данные от датчиков физиологических показателей пользователя.

В конечном итоге выводы проведенного исследования позволяют расширить сферу применения подобного рода устройств с сугубо бытовой до медицинской за счет устранения ограничений на ее использование для людей с артериальной гипертензией, сердечно-сосудистой недостаточностью (при условии предварительной консультации с врачом).

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Драпеза В.Ю. Исследование динамики физиологических параметров пользователя при проведении терапии в инфракрасной кабине / В.Ю. Драпеза, А.В. Воробей, А.М. Стасишина, Г.А. Розум, М.В. Давыдов // Научный журнал «Доклады БГУИР» / редкол.: В.А. Богуш [и др.]. Мн.: БГУИР, №7 (117), 2018. с. 123-127.

2. Mezhenaya M.M., Vorobey A.V., Drapeza V.Y., Osipov A.N., Dick S.K., Thostov M. X.-M. Profile Forming of Infrared Cabin User's Biomedical Indicators // ICNBME-2019: 4-я Международная конференция по нанотехнологиям и биомедицинской инженерии. 2019; Volume 77: с. 421-425.

3. Воробей А.В. Экспериментальное обоснование эффективного режима воздействия инфракрасного излучения на организм человека при проведении инфракрасной терапии / А.В. Воробей, А.Н. Осипов, М. Х.-М. Тхостов, И. А. Телеш // Научный журнал «Доклады БГУИР» / редкол.: В.А. Богуш [и др.]. Мн.: БГУИР, №18 (3), 2020. с. 14-19.

4. Воробей А.В. Оптимизация алгоритма работы инфракрасной кабины с биотехнической обратной связью на основании проведенных исследований / А.В. Воробей, М.М. Меженая, А.Н. Осипов, М. Х.-М. Тхостов, И.А. Телеш // сб. материалов Шестой международной научно-практической конференции «BIG DATA and Advanced Analytics» / редкол.: В.А. Богуш [и др.]. Мн.: БГУИР, ч. 2, 2020. с. 93-102.

5. Воробей А.В. Исследование воздействия инфракрасного излучения на организм человека в ИК-кабине / А.В. Воробей, В.Ю. Драпеза //

сб. тезисов 55-ой Юбилейной Научной Конференции Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР / Мн.: БГУИР, 2019. с. 46.

6. Воробей А.В. Обеспечение безопасности пользователя при проведении инфракрасной терапии / А.В. Воробей // сб. тезисов 56-ой Научной Конференции Аспирантов, Магистрантов и Студентов БГУИР / Мн.: БГУИР, 2020. с. 24.

7. Сташишина А.М. Устройство для количественной оценки и мониторинга потоотделительной функции кожи человека / А.М. Сташишина, М.В. Давыдов, С.С. Стебунов, А.В. Воробей // сб. материалов Международной научно-теоретической конференции «Медэлектроника – 2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии» / редкол.: В.А. Богуш [и др.]. Мн.: БГУИР, 2020. с. 36-40.

8. Воробей А.В. Университет будущего научные идеи в лучшие инновации / А.В. Воробей // Газета «СБ. Беларусь сегодня», № 25861, 23 ноября 2019. с. 12-13.

9. Воробей А.В. Инфракрасное излучение в лечебной и оздоровительной практике / А.В. Воробей // Газета УО «БГУИР» «Импульс», №4 (754), 31 марта 2020 г. с. 3.