

ФИЗИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА И КУРОРТНАЯ ТЕРАПИЯ

УДК 615.831.7; 615.832.1

А.Н. ОСИПОВ, М.Х.-М. ТХОСТОВ, М.М. МЕЖЕННАЯ, М.В. ДАВЫДОВ,  
В.Ю. ДРАПЕЗА, Н.И. СТЕТЮКЕВИЧ\*, В.Ф. ШЕВЦОВ\*, В.А. КУЛЬЧИЦКИЙ\*\*

**ИНФРАКРАСНАЯ КАБИНА С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ  
ПАРАМЕТРАМИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ОСНОВЕ  
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Беларусь*

*\*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси Минск, Беларусь*

*\*\*Институт физиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь*

Разработана энергоэффективная мобильная инфракрасная (ИК) кабина для восстановления функциональных резервов человеческого организма. ИК кабина обеспечивает глубокое проникновение оптического излучения в ткани человека за счет использования излучателей ближнего ИК диапазона. Отличительными особенностями предлагаемого устройства являются мониторинг физиологических показателей пользователя и автоматическое управление параметрами ИК процедуры на основе результатов мониторинга. Это позволяет постоянно контролировать интенсивность тепловой нагрузки в соответствии с индивидуальными особенностями функционального состояния человека.

Ключевые слова: инфракрасное излучение, инфракрасная кабина, ближний ИК диапазон, автоматическое управление параметрами воздействия, мониторинг физиологических показателей.

**Введение.** Инфракрасное (ИК) излучение используется для проведения тепловых процедур в клинической и спортивной медицине с целью восстановления функциональных резервов человеческого организма. Сеансы ИК терапии сопровождаются рядом позитивных эффектов: расширением кровеносных сосудов, увеличением обмена веществ, усилением иммунитета, повышением содержания кислорода в тканях, тем самым обеспечивая противовоспалительный, противоотечный, противоспазматический и обезболивающий эффекты. Прогревая ткани тела, ИК излучение вызывает активацию потоотделения. При этом показано, что пот состоит на 80% из воды и на 20% из твердых веществ (жир, кислоты, токсины, холестерин), в то время как при потоотделении в обычной сауне пот содержит 95% воды и 5% твердых веществ [1].

В отличие от традиционных саун и бань ИК кабина характеризуется прямым нагревом тела человека ИК излучением без промежуточного теплоносителя: до 90% энергии, генерируемой излучателями, поступает непосредственно в тело человека, и только 10% идет на нагрев воздуха [1]. Этим объясняется невысокая относительно традиционной бани температура в ИК сауне (45-50 °С) [1-3]. ИК нагреватели не снижают содержание кислорода в кабине, тем самым не допускают обезвоживания и иссушения кожи. К другим преимуществам ИК кабин относятся их эксплуатационные показатели: время готовности (10 мин), потребляемая мощность (0,9–1,8 кВт), абсолютная пожаробезопасность [1-2].

Однако достигаемый терапевтический эффект воздействия ИК излучения зависит от начального функционального состояния человека и адекватного выбора параметров облучения. Существующие ИК кабины преимущественно воздействуют длинноволновым диапазоном ИК спектра [4-8], способным разогревать только верхние слои кожи без глубокого проникновения в ткани человека [1,9-11]. Кроме того ИК терапия противопоказана при артериальной гипертензии и сердечно-сосудистой недостаточности, так как используемые ИК излучатели генерируют избыточный поток энергии, существенно повышая температуру тела человека. При этом показатели энергопотребления остаются достаточно высокими.

Современный уровень развития технологий позволяет совершенствовать медицинскую технику, в том числе в направлении решения вышеуказанных проблем. При этом перспективной является разработка лечебно-диагностических комплексов с функцией управления параметрами

воздействия исходя из физиологических характеристик биообъекта. Применительно к устройствам для инфракрасной терапии это позволит генерировать тепловую нагрузку, адекватную индивидуальному функциональному состоянию пользователя.

В связи с вышеизложенным авторами разработана энергоэффективная мобильная инфракрасная кабина для низкоинтенсивного воздействия ИК излучением преимущественно ближнего ИК диапазона на тело человека. Отличительными особенностями предлагаемого устройства являются функция мониторинга физиологических показателей пользователя и автоматическое управление параметрами ИК процедуры на основе результатов мониторинга функционального состояния испытуемого (т.е. реализация принципа биологической обратной связи в конкретной прикладной разработке).

**Структурная схема и принцип работы устройства.** Разработанное авторами устройство для воздействия низкоинтенсивным ИК излучением на человеческий организм представляет собой ИК кабину с автоматическим управлением параметрами воздействия на основе физиологических показателей пользователя (рисунок 1).

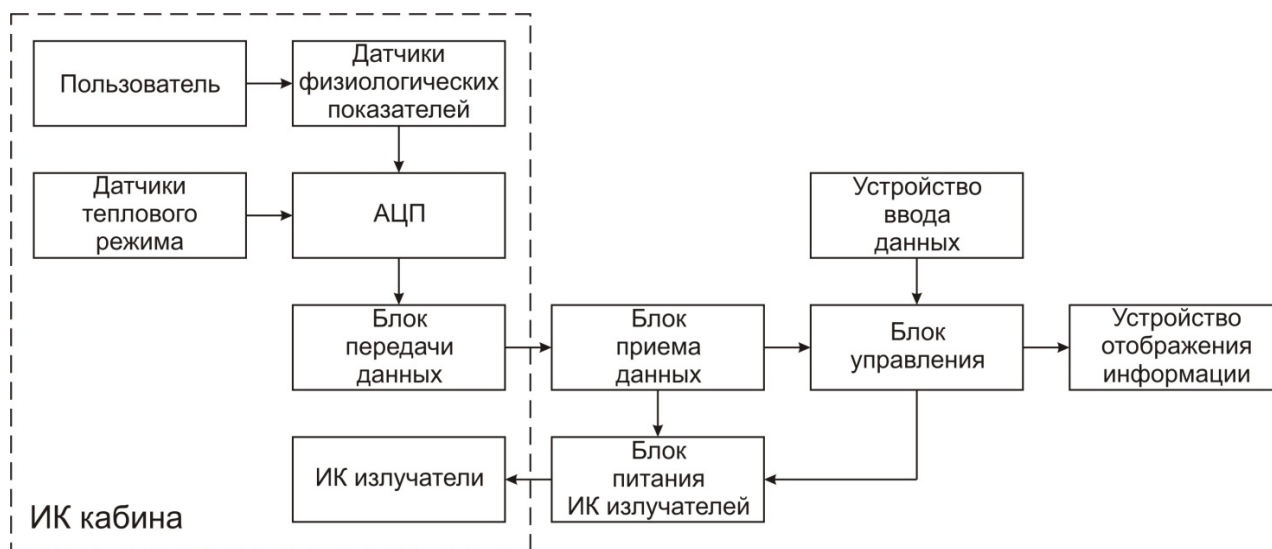


Рис. 1. Структурная схема устройства инфракрасной кабины с автоматическим управлением параметрами воздействия на основе физиологических показателей пользователя

Устройство содержит датчики физиологических показателей пользователя, датчики теплового режима, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), блок передачи данных, блок приема данных, блок управления, устройство ввода данных, устройство отображения информации, ИК излучатели, блок питания ИК излучателей.

Устройство функционирует следующим образом.

ИК кабина располагается в вертикальном или горизонтальном положении, включаются ИК излучатели и осуществляется их разогрев до достижения рабочего теплового режима внутри устройства. Контроль теплового режима реализуется посредством датчиков температуры и влажности. Сигналы с датчиков теплового режима преобразуются в цифровую форму посредством АЦП, далее с помощью блоков передачи и приема данных поступают на блок управления, расположенный вне конструкции ИК кабины. С помощью устройства ввода данных устанавливаются требуемые параметры теплового режима. Блок управления осуществляет достижение и поддержание этих рабочих параметров за счет управления блоком питания излучателей. После разогрева ИК излучателей кабина готова к использованию.

Перед началом процедуры на теле пользователя (который предварительно был осмотрен врачом) размещаются датчики физиологических показателей, а именно, сенсоры артериального давления, пульса, частоты дыхания, температуры тела. Далее пользователь располагается в ИК кабине. Посредством АЦП и блоков передачи и приема данных информация о функциональном состоянии пользователя поступает в блок управления и выводится на устройство отображения в реальном режиме времени, что обеспечивает непрерывное наблюдение за пользователем врачом (оператором).

В процессе проведения терапевтической процедуры осуществляется автоматическая корректировка параметров воздействия на основе мониторинга физиологических показателей

пользователя. В частности, посредством управления блоком питания ИК излучателей выполняется регулировка тепловой нагрузки на организм пользователя.

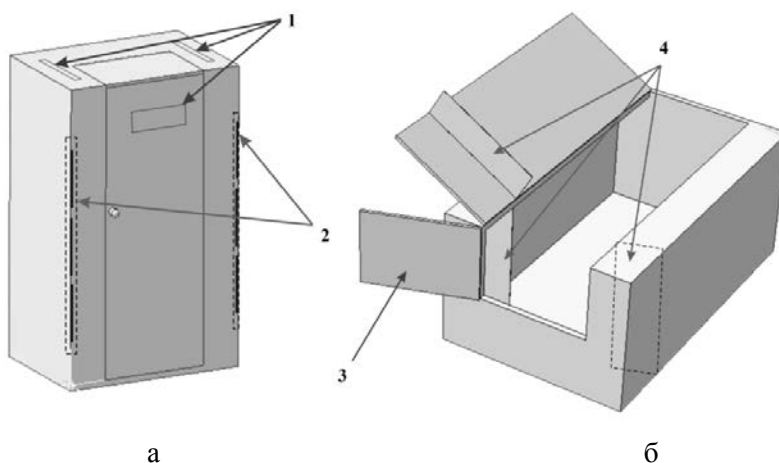
Время процедуры устанавливается посредством блока ввода информации. По истечении требуемого времени терапевтической процедуры происходит автоматическое отключение ИК излучателей блоком управления.

Во время мониторинга физиологических показателей пользователя характер изменения перечисленных биопараметров свидетельствует о происходящих в организме естественных адаптивных процессах терморегуляции. При этом необходимо исключить переход в режим перегрузки и насыщения, критерием наступления которого является превышение вышеуказанными показателями допустимых величин. Для этого целесообразно уменьшать тепловую нагрузку на организм человека посредством снижения мощности ИК излучателей.

Еще одним важным критерием нормального функционирования регуляторных механизмов является появление после начала процедуры быстрой тенденции к восстановлению функциональных показателей. Иная тенденция к восстановлению функциональных показателей является поводом для прекращения ИК процедуры и последующей консультации с врачом.

Дополнительная диагностическая информация о состоянии пользователя может быть получена после окончания процедуры ИК терапии. Это связано с тем, что значения времени для возвращения биопараметров в исходное состояние после окончания ИК процедуры переменны у каждого человека (от 5 до 30 минут), но не должны превышать 30 минут. Поэтому предлагаемое устройство реализует возможность контроля физиологических показателей пользователя после окончания процедуры с выводом информации на устройство отображения.

**Конструктивное исполнение устройства.** С точки зрения конструктивного исполнения разработанная ИК кабина представляет собой прямоугольную камеру с входной дверью, откидной крышкой для удобства входа в горизонтально расположенную кабину, открывающимися окнами для обеспечения притока воздуха, рефлекторами для защиты головы человека от действия ИК излучения (рисунок 2). Внутри ИК кабины размещаются ИК излучатели, датчики тепловой нагрузки, блок АЦП и блок передачи данных. Вне конструкции ИК камеры размещаются блок приема данных, блок управления, устройство ввода данных, устройство отображения информации и блок питания излучателей. Материал внутренней обшивки кабины – теплоизоляция с зеркальным в ИК диапазоне покрытием из алюминиевой фольги – снижает энергетические затраты и позволяет повысить эффективность прогревания за счет отражения внутренней поверхностью кабины ИК излучения и перенаправления его в центральную зону. Материал внешней обшивки кабины – поликарбонат – предпочтителен с точки зрения дизайна, обеспечивает легкость и мобильность конструкции (рисунок 3). ИК кабина рассчитана на одного человека. Общий вес устройства составляет 11 кг, что обеспечивает возможность перемещения и изменения положения кабины одним человеком.



**Рис. 2** Конструктивное исполнение ИК кабины: в вертикальном положении (а) и горизонтальном положении (б) 1 – открывающиеся окна для обеспечения притока воздуха, 2 – держатели ИК излучателей, 3 – откидная крышка для удобства входа в горизонтально расположенную кабину, 4 – рефлекторы для защиты головы человека от избыточного перегрева

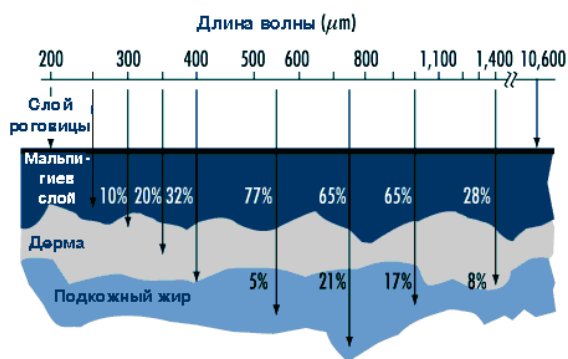


а б в

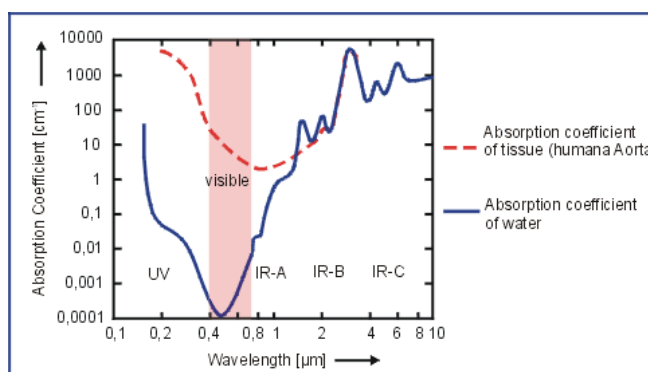
**Рис. 3** Внешний вид ИК кабины для проведения тепловых процедур: в вертикальном положении с закрытой (а) и открытой (б) дверью, в горизонтальном положении (в)

Максимальный физиотерапевтический эффект ИК процедуры достигается за счет использования излучателей ближнего ИК диапазона, которые обеспечивают наибольшую глубину проникновения ИК излучения в ткани человеческого организма. Выбор вышеуказанного диапазона ИК воздействия обосновывается следующим образом. Традиционное представление о выборе спектрального диапазона облучения в ИК терапии основано на том, что организм человека излучает ИК энергию в длинноволновом диапазоне с максимумом на длине волны 6 мкм. Предполагается, что применение низкотемпературных ИК излучателей, генерирующих энергию в длинноволновом диапазоне, обеспечит максимальное поглощение ИК излучения [4-8]. Однако такой подход не учитывает важной особенности реальных биологических объектов, представляющих собой сложную систему различных молекул с собственными спектрами излучения.

Кожа человека представляет собой физиологический экран, прозрачность которого для инфракрасных лучей зависит от длины волны (рисунок 4): ближние инфракрасные лучи (до 1,5 мкм) характеризуются максимальной проникающей способностью в кожные покровы (60-70 мм), а для инфракрасных лучей с длиной волны более 5 мкм проникающая способность резко снижается до 0,3-0,5 мм, т.е. они практически не проникают в тело человека [9].



а



б

**Рис. 4** Проникновение волн различной длины в ткани организма человека (а), коэффициенты поглощения оптического излучения различной длины волны водой и тканью человеческого организма (б) [11]

Наибольшее проникновение оптического излучения в ткани человеческого организма наблюдается в диапазоне от 0,7 до 1,8 мкм, и этот диапазон называется "окном терапевтической прозрачности" [1]. Вследствие этого выводимое устройство реализует воздействие на организм человека ИК излучением преимущественно в ближнем ИК диапазоне.

Температура воздуха внутри ИК кабины задается посредством изменения мощности электропитания источников ИК излучения и поддерживается на уровне 39°C в области туловища пациента (что существенно ниже существующих серийных аналогов - более 45°C) [2-3] и 32°C в области головы (из-за наличия защитных рефлекторов и воздушных окошек, расположенных на

уровне головы). Температура 39°C в области туловища является оптимальной для имитации естественной реакции организма человека на подъем глубокой температуры тела во время развития системного воспалительного процесса и активации при этом защитных нейрогуморальных механизмов. При достижении глубокой температуры тела 39°C у большинства испытуемых обычно не возникает побочных негативных реакций, в первую очередь, со стороны сердечно-сосудистой системы. Это позволяет расширить сферу применения ИК терапии за счет устранения ограничений на использование инфракрасных камер при артериальной гипертензии, сердечно-сосудистой недостаточности при наличии конкретных показаний со стороны лечащего врача.

Наличие в составе блока питания ИК излучателей понижающего трансформатора обеспечивает защиту пользователя от случайного поражения электрическим током при проведении терапевтических процедур в случае возникновения неисправности в окружающем оборудовании.

**Заключение.** Разработана инфракрасная кабина для восстановления функциональных резервов человеческого организма. Устройство характеризуется следующими преимуществами по сравнению с существующими аналогами:

1. Максимальная глубина проникновения ИК излучения в ткани человеческого организма за счет использования ИК излучателей преимущественно ближнего ИК диапазона.

2. Мобильность: конструкция ИК кабины и ее вес позволяют проводить оздоравливающие тепловые процедуры как в горизонтальном, так и в вертикальном положениях, в то время как выпускаемые ИК сауны характеризуются вертикальной ориентацией в пространстве [1-2,7-8,12]. При этом обеспечивается возможность изменения положения и перемещения устройства одним человеком.

3. Низкое энергопотребление: потребляемая мощность ИК кабины составляет 0,4 кВт/ч, что значительно ниже по сравнению с существующими аналогами (не менее 0,9 кВт/ч) [1-2].

4. Рабочая температура внутри кабины поддерживается на уровне 39°C в области туловища пациента (что существенно ниже существующих серийных аналогов - более 45°C) [2-3] и 32°C в области головы (из-за наличия защитных рефлекторов и воздушных окошек, расположенных на уровне головы). Это позволяет расширить сферу применения ИК терапии за счет устранения ограничений на использование инфракрасных камер у ряда пациентов с хроническими заболеваниями после предварительных обоснованных показаний лечащего врача.

5. Мониторинг физиологических показателей пользователя позволяет получить диагностическую информацию о текущем функциональном состоянии человека и использовать полученную информацию для автоматического управления параметрами ИК процедуры, начиная от регулировки температурных режимов и заканчивая полным прекращением процедуры при необходимости. Это позволяет генерировать тепловую нагрузку, адекватную индивидуальному функциональному состоянию пользователя.

Результаты работы согласуются с научно обоснованными рекомендациями признанных специалистов в области прикладного использования физических факторов в медицинской сфере [9, 13, 14] и поэтому представляют интерес для инженеров медицинской техники, а также для врачей физиотерапевтов и кардиологов.

#### Литература:

- [1]. Инфракрасные сауны Uborg [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uborgsauna.ru>. – Дата доступа : 15.10.2016.
- [2]. Воронежский каталог инфракрасных саун и кабин [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.iksauna36.ru/manufacture.php>. – Дата доступа : 15.10.2016.
- [3]. Сауна и генератор дальнего ИК излучения для нее: пат. WO 2005060355 A2, МПК А61Н33/06; опубл. 7.07.2005.
- [4]. Дальнее инфракрасное излучение и лучи жизни [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vitalrays.ru/archives/126>. – Дата доступа: 15.10.2016.
- [5]. Сауна: пат. 10151789 А1 Германия, МПК А61Н33/06; опубл. 30.04.2003.
- [6]. Сауна: пат. 3959477 В2 Япония, МПК А61Н33/06; опубл. 15.08.2007.
- [7]. Infrason – сауны солнца [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infrason.ru/infrason/suncarbon/>. – Дата доступа: 15.10.2016.
- [8]. Инфракрасные кабины Infradoc [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infradoc.spb.ru/princip.htm>. – Дата доступа: 15.10.2016.
- [9]. Пономаренко Г.М. Биофизические основы физиотерапии / Г.Н. Пономаренко, И.И. Турковский. М.: "Медицина", 2006. с. 17-18.

*A.H. Осипов, М.Х.-М. Тхостов, М.М. Меженная, М.В. Давыдов, В.Ю. Дραπεза, Н.И. Стетюкевич, В.Ф. Шевцов,  
В.А. Кульчицкий*

- [10]. Энциклопедия по охране и безопасности труда / Международная Организация Труда, 2-е изд., 1988.  
[11]. Journal of Biomedical Optics 12(4), 044012, 2007.  
[12]. Инфракрасная зеркальная сауна: пат. 2303433 С2 Российская Федерация, МПК А61Н33/06; опубл. 09.04.2006.  
[13]. Улащик В.С. Введение в теоретические основы физической терапии / В.С. Улащик. Минск. 1981. 238 с.  
[14]. Улащик В.С. Общая физиотерапия: учебник / В.С. Улащик, И.В. Лукомский. Минск: Книжный дом. 2008. 512 с.

Поступила в редакцию: 27.02.2017 г.

*A.N. OSIPOV, M.H.-M. TKHOSTOV, M.M. MEZHENNAYA, M.V. DAVYDOV, V.Y. DRAPEZA, N.  
I. STETUKEVICH\*, V. F. SHEVCOV\*, V.A. KULCHITSKY\*\**

## **INFRARED CABIN WITH AUTOMATIC CONTROL PARAMETERS OF INFLUENCE BASED ON THE PHYSIOLOGICAL HUMAN PARAMETERS**

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus*

*\*A.V. Luikov heat and mass transfer Institute of the National academy of sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

*\*\*Institute of Physiology, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus*

### **Summary**

Energy-efficient mobile infrared (IR) cab has been developed to restore the human body functional state. Infrared cabin provides a deep penetration of optical radiation to human tissue by the use of near-infrared emitters range. Distinctive features of this device are monitored user physiological parameters and automatic control of the parameters of IR procedures based on monitoring results. This allows to generate a thermal stress which adequate to the individual user's functional state.

Key words: infrared radiation, infrared cabin, the short-range infrared radiation, automatic control parameters of influence, monitoring of physiological parameters.