

УДК 159.9.016.4

## **ОПТИМИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ИНФРАКРАСНОЙ КАБИНЫ С БИОТЕХНИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ НА ОСНОВАНИИ ПРОВЕДЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**



**А.В. Воробей**  
Магистрант кафедры  
ИПиЭ БГУИР



**М.М. Меженная**  
Доцент кафедры ИПиЭ  
БГУИР, кандидат технических наук,  
доцент



**А.Н. Осипов**  
Проректор по научной  
работе БГУИР,  
кандидат технических  
наук, доцент



**М.Х-М. Тхостов**  
Старший научный сотрудник БГУИР



**И.А. Телеш**  
Доцент кафедры ИПиЭ БГУИР, кандидат  
географических наук, доцент

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск, Республика Беларусь*

*E-mail: vorobey@bsuir.by, mezhennaya@bsuir.by, osipov@bsuir.by, tia32@bsuir.by*

### **А.В. Воробей**

*Окончила Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка» по специальности Биология и химия. Обучается в магистратуре БГУИР по специальности «Психология труда, инженерная психология, эргономика», выполняет исследования в рамках магистерской диссертации на тему «Система обеспечения безопасности труда при воздействии инфракрасного излучения на физиологические параметры человека»*

### **М.М. Меженная**

*Окончила БГУИР по специальности Медицинская электроника. Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, руководит научными исследованиями в области цифровой обработки и анализа биомедицинских сигналов и изображений.*

### **А.Н. Осипов**

*Проректор по научной работе БГУИР, кандидат технических наук, доцент, руководит научными исследованиями в области разработки лечебно-диагностических аппаратно-программных комплексов с биотехнической обратной связью.*

**М. Х-М. Тхостов**

Старший научный сотрудник БГУИР, специализируется на разработке технических систем инфракрасного нагрева.

**И.А. Телеш**

Доцент кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, кандидат географических наук, доцент. Окончила Белорусский государственный педагогический университет имени М. Танка» и аспирантуру Белорусского государственного университета по специальности «Геоэкология». Одним из направлений научных исследований является область изучения влияния биоклиматических ресурсов на физиологическое, тепловое состояние организма человека.

**Аннотация.** В статье описаны результаты исследований воздействия инфракрасного (ИК) излучения на физиологические параметры человека при различных режимах работы ИК кабины. По результатам исследований описывается эффективный режим воздействия инфракрасного излучения на организм человека, а также предлагается оптимизированный алгоритм биотехнической обратной связи в инфракрасной кабине.

**Ключевые слова:** инфракрасное излучение, инфракрасная кабина, мониторинг физиологических показателей человека, эффективный режим работы инфракрасной кабины, потоотделение, алгоритм, биотехническая обратная связь.

**Введение.** Инфракрасная (ИК) кабина – это устройство для проведения тепловых процедур, в котором располагаются нагревательные элементы, излучающие в инфракрасном диапазоне волн.

Инфракрасная (ИК) кабина предназначена для быстрого, эффективного и глубокого внутреннего прогрева организма человека инфракрасным (тепловым) излучением до интенсивного потоотделения [1,2]. Она имеет широкое применение в оздоровительной, лечебной и спортивной практике, а также удобна для использования в быту. В таблице 1 представлены существующие аналоги ИК кабины и их характеристики [3]. Недостатками аналогов являются: высокая рабочая температура ИК кабины, отсутствие контроля за состоянием физиологических показателей пользователя, высокое потребление мощности при проведении ИК терапии, 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) разработана инновационная инфракрасная кабина с биотехнической обратной связью, решающая задачу повышения эффективности и безопасности физиотерапевтической процедуры ИК прогревания [4,5]. 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 [4,5].

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

Таблица 1. – Существующие аналоги ИК кабины и их характеристики

Бренд ИК кабины	Диапазон ИК-излучения, мкм	Рабочая температура, °С	Рабочее положение ИК кабины	Мощность, Вт	Контроль теплового режима	Контроль состояния человека	Размещение человека
Harvia (Финляндия)	4-17	60	вертикальное	1340 - 1820	нет	нет	сидя/стоя
WELLNESS (Австрия)	4-17	40-60	вертикальное	1500 - 1750	нет	нет	сидя/стоя
Balio (Россия)	4-4,5	До 45	вертикальное	550 - 825	нет	нет	сидя
TW (Германия)	4-4,5	60-65	вертикальное	600 - 800	автоматический	нет	сидя
Кору (Россия)	2-10	35-50	вертикальное	1500 - 1820	нет	нет	сидя/стоя
Uborg (Россия)	0,7-3	35-47	вертикальное	1500 - 1850	нет	нет	сидя/стоя
KLAFS (Германия)	4-4,5	40-45	вертикальное	1280 - 1900	автоматический	нет	сидя/лежа

 – Выделены удовлетворительные характеристики  
 – Выделены неудовлетворительные характеристики

С целью результативного прогревания организма человека (в частности, для интенсивного выведения токсинов за счет усиленного потоотделения) требуется экспериментально установить эффективный режим воздействия инфракрасного излучения на организм человека с последующей его реализацией в разработанной ИК кабине.

*Основные результаты исследований, их научная и практическая роль.* Для исследования воздействия ИК-излучения на физиологические параметры человека были проведены три серии экспериментов.

В рамках всех экспериментов пользователь размещался в горизонтально расположенной инфракрасной кабине. На теле пользователя размещались датчики температуры, пульса и давления для контроля физиологических параметров. Далее выполнялось включение ИК кабины и датчиков теплового режима. Исследование включало процессы разогрева ИК кабины, собственно ИК прогревания, а также восстановления физиологических показателей пользователя по окончании процедуры. В течение каждого

этапа пользователь находился в ИК кабине, выполнялась регистрация параметров теплового режима, а также физиологических показателей человека. До начала и после окончания исследования измерялся вес пользователя для оценки интенсивности потоотделения, что является показателем эффективности процедуры ИК прогревания.

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. Температура воздуха внутри ИК кабины в области тела человека после 10 минут процедуры составляла 37-38°C, а к концу процедуры равнялась 40-42°C. При этом температура непосредственно на голове человека находилась на уровне 31-32°C, а температура в области туловища составляла 40°C к концу процедуры. За время ИК процедуры верхнее давление уменьшилось на  $4,13 \pm 6,15$  мм.рт.ст., нижнее давление уменьшилось на  $13,25 \pm 13,75$  мм.рт.ст. При этом потеря веса составила  $-368 \pm 342$ г.

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. Температура воздуха внутри ИК кабины в области тела человека после 10 минут процедуры составляла 34-36°C, а к концу процедуры равнялась 38-40°C. При этом температура непосредственно на голове человека находилась на уровне 30,5°C, а температура в области туловища составляла 38-39°C к концу процедуры. За время ИК процедуры верхнее давление уменьшилось на  $14,57 \pm 14,94$  мм.рт.ст., нижнее давление уменьшилось на  $16,00 \pm 9,78$  мм.рт.ст. При этом потеря веса составила всего  $-93 \pm 53$  г. Из этого следует, что из-за низкой температуры окружающей среды часть энергии уходила на обогрев комнаты, для разогрева ИК кабины требовалось больше времени, в связи с чем время сеанса в 30 минут оказалось недостаточным для выхода на полноценный режим прогревания. Сделан вывод о недостаточной эффективности диапазона температур в 38-40°C.

В третьей серии экспериментов участвовало 5 человек (5 мужчин, 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. Температура воздуха внутри ИК кабины в области тела человека после 10 минут процедуры составляла 37-38°C, а к концу процедуры равнялась 40-42°C. При этом температура непосредственно на голове человека находилась на уровне 29-30,5°C, а температура в области туловища составляла 38-39°C. Верхнее артериальное давление уменьшилось на  $3,20 \pm 8,96$  мм.рт.ст., а нижнее артериальное давление уменьшилось на  $5,40 \pm 11,52$  мм.рт.ст. При этом потеря веса составила  $-418 \pm 171$  г., что значительно больше, чем в предыдущих исследованиях.

Для оценки эффективности режима воздействия ИК излучения на организм человека предложен коэффициент  $K$ , равный отношению потери веса пользователя  $\Delta W$  к максимальной рабочей температуре воздуха в ИК кабине на уровне тела человека  $T_{max}^{air\_near\_body}$ :

$$K = \frac{\Delta W}{T_{max}^{air\_near\_body}}$$

Основные результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные результаты исследований

Исследование		1	2	3
Количество испытуемых		8 человек	10 человек	5 человек
Время процедуры		20 минут	30 минут	50 минут
Температура окружающей среды, °С		22	17	21
Рабочий диапазон температуры, °С	После 10 минут	37-38	34-36	37-38
	В конце процедуры	40-42	38-40	40-42
Температура головы (после окончания процедуры), °С		31-32	30,5	29-30,5
Температура человека вдоль туловища (после окончания процедуры), °С		40	38-39	38-39
Вес, г		-368 ± 342	-93 ± 53	-418 ± 171
Давление верхнее, мм.рт.ст.		-4,13 ± 6,15	-14,57 ± 14,94	-3,20 ± 8,96
Давление нижнее, мм.рт.ст.		-13,25 ± 13,75	-16,00 ± 9,78	-5,40 ± 11,52.
Пульс, ударов в минуту		12,63 ± 9,16	14,00 ± 13,08	20,60 ± 9,29
Коэффициент эффективности (К), г/°С		8,76	2,33	9,95
<p> – Выделены удовлетворительные характеристики</p> <p> – Выделены неудовлетворительные характеристики</p>				

На основании вышеизложенного целесообразно сделать следующие выводы:

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

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

–Длительность процедуры собственно ИК прогревания (без учета разогрева кабины) определяется врачом, при этом рекомендуемой является длительность в 30 минут (это согласуется с практическим опытом физиотерапевтов).

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

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

Вышеперечисленное составило основу алгоритма биотехнической обратной связи в инфракрасной кабине [6]. По результатам исследований удалось уточнить эффективный рабочий диапазон температур, а также критерий окончания периода разогрева и начала собственно периода терапии – достижение температуры в 40°С. Установленная температура

начала ИК терапии гораздо ниже температур существующих аналогов. Это позволяет минимизировать тепловую нагрузку на организм человека при сохранении эффективности прогревания (рисунок 1).



Рисунок 1. – Общий алгоритм биотехнической обратной связи в разработанной инфракрасной кабине

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

Для контроля теплового режима внутри ИК кабины используются:

$T_i^{air\_near\_body}$  – температура воздуха внутри ИК кабины, зарегистрированная в области туловища человека в текущий (i-ый) момент времени;

$T_i^{air\_near\_head}$  – температура воздуха внутри ИК кабины, зарегистрированная в области головы человека в текущий (i-ый) момент времени.

Для оценки физиологических показателей пользователя используются:

$T_{i}^{human\_body}$  – температура пользователя, находящегося внутри ИК кабины, зарегистрированная в области туловища в текущий (i-ый) момент времени;

$T_{i}^{human\_head}$  – температура пользователя, находящегося внутри ИК кабины, зарегистрированная в области головы в текущий (i-ый) момент времени;

$Pressure_{i}^{systolic}$  – верхнее артериальное давление пользователя, находящегося внутри ИК кабины, зарегистрированное в текущий (i-ый) момент времени;

$Pressure_{i}^{diasystolic}$  – нижнее артериальное давление пользователя, находящегося внутри ИК кабины, зарегистрированное в текущий (i-ый) момент времени;

$Pulse_{i}^{diasystolic}$  – пульс пользователя, находящегося внутри ИК кабины, зарегистрированный в текущий (i-ый) момент времени.

В процессе ИК процедуры должны соблюдаться следующие условия теплового режима воздуха внутри ИК кабины:

$$40^{\circ}\text{C} \leq T_{i}^{air\_near\_body} \leq 42^{\circ}\text{C}, \\ T_{i}^{air\_near\_head} \leq 32^{\circ}\text{C}.$$

Это с одной стороны обеспечивает эффективное прогревание тела человека (в частности, температура тела человека повышается до  $38,5^{\circ}\text{C}$ , что имитирует естественную реакцию организма на инфекционные процессы, активизирует защитные механизмы, подавляет деятельность болезнетворных бактерий и вирусов), а с другой стороны еще не вызывает нежелательного перегрева и негативных реакций со стороны сердечно-сосудистой системы человека.

Во время мониторинга физиологических показателей пользователя характер изменения перечисленных биопараметров 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 вышеуказанными показателями допустимых величин. Для этого разработана двухуровневая система корректировки (рисунок 2).

Двухуровневая система корректировки работает следующим образом:

– Если показатели относительного отклонения физиологических параметров пользователя превышают допустимые значения (устанавливаются программно и определяются врачом), выполняется уменьшение тепловой нагрузки на организм человека посредством снижения мощности ИК излучателей.

– Превышение максимально допустимых абсолютных значений физиологических параметров (устанавливаются программно и определяются врачом) является поводом для прекращения ИК процедуры (отключение ИК излучателей блоком управления) и последующей консультации с врачом.

*Заключение.* Авторами разработана ИК кабина с биотехнической обратной связью. Целевая аудитория для разработанной ИК кабины включает два сегмента: 1) молодые люди, ведущие активный образ жизни (использование ИК кабины в целях оздоровления); 2) люди зрелого и пожилого возраста, в том числе люди с сердечно-сосудистыми заболеваниями (использование ИК кабины с лечебной целью).

Экспериментально установлен эффективный режим воздействия инфракрасного излучения на организм человека. Для оценки эффективности воздействия предложен коэффициент, равный отношению потери веса пользователя к максимальной рабочей температуре воздуха в ИК кабине на уровне тела человека.

По результатам трех серий экспериментов сделан вывод: эффективное прогревание человека происходит при рабочих температурах воздуха внутри ИК кабины (на уровне тела человека) в интервале от  $40^{\circ}\text{C}$  до  $42^{\circ}\text{C}$  (коэффициент эффективности режима воздействия ИК излучения на организм человека в третьем эксперименте достиг наибольшего значения).

Началом ИК прогревания следует считать момент выхода ИК кабины на рабочую температуру 40°C. 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.

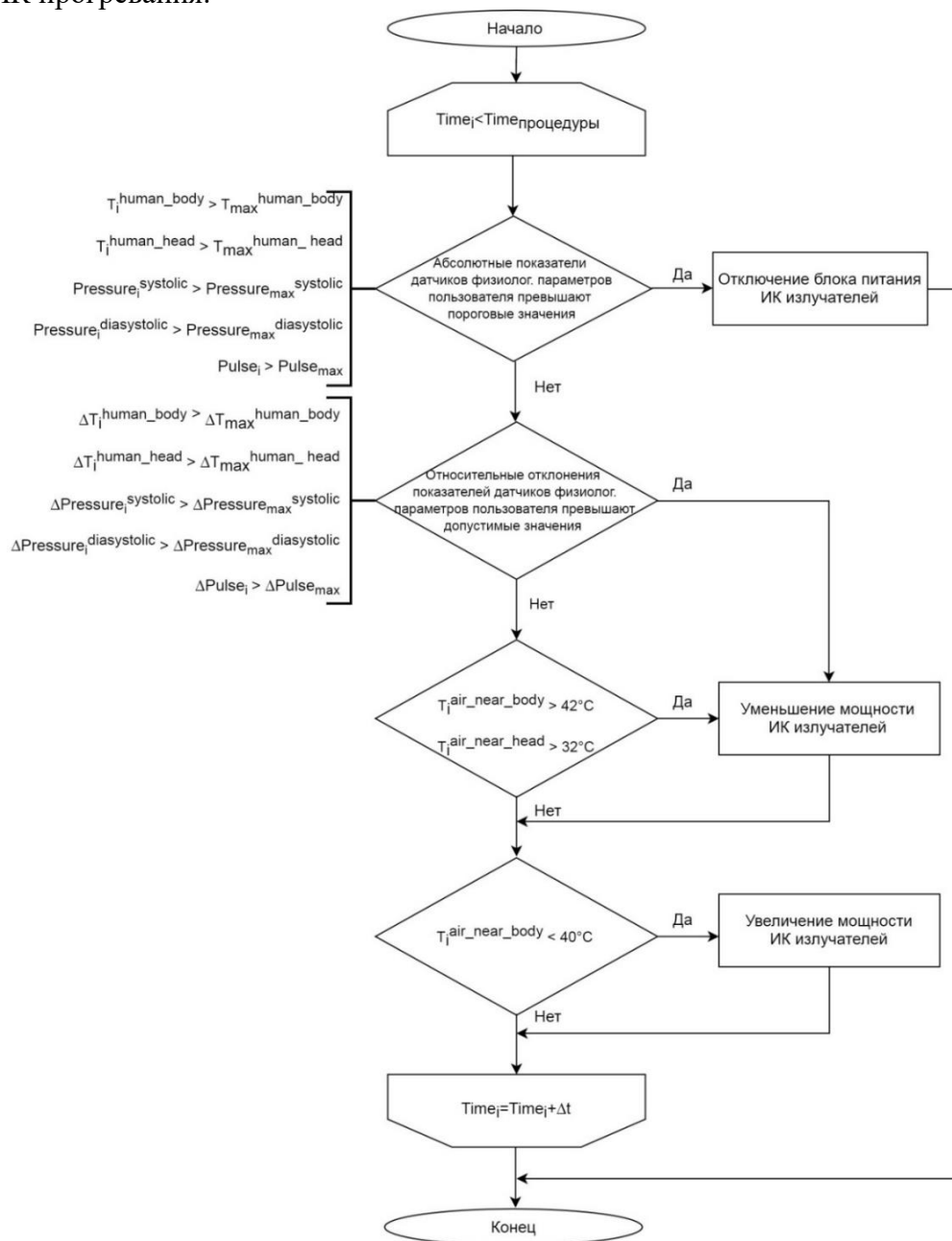


Рисунок 2. – Алгоритм этапа ИК терапии

Вышеперечисленное составило основу алгоритма биотехнической обратной связи в инфракрасной кабине. В основе управления воздействием ИК излучения на организм человека находятся два информационных канала – данные с датчиков теплового режима и данные от датчиков физиологических показателей пользователя. Во время мониторинга физиологических показателей пользователя характер изменения физиологических показателей пользователя свидетельствует о происходящих в организме естественных адаптивных процессах терморегуляции. Контроль состояния физиологических параметров пользователя при проведении ИК терапии и автоматическая корректировка мощности ИК



излучателей позволяет сделать процедуру ИК прогревания безопасной для пользователей. По результатам исследований удалось уточнить эффективный рабочий диапазон температур, а также критерий окончания периода разогрева и начала собственно периода терапии – достижение температуры 40°C.

Разработанная ИК кабина может быть использована в санаторно-курортных организациях и учреждениях здравоохранения Республики Беларусь.

#### **Список литературы**

[1.] Инфракрасная кабина с биотехнической обратной связью: пат. 11587 Респ. Беларусь, МПК А61Н33/06 / А.Н. Осипов, М.Х.-М. Тхостов, М.М. Меженная, В.А. Кульчицкий, М.В. Давыдов, Д.А. Котов, Н.И. Стетюкевич, В.Ф. Шевцов, Н.С. Давыдова, В. Ю. Драпеза // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2018. – № 1 (120). – С. 169-170.

[2.] 4-я Международная конференция по нанотехнологиям и биомедицинской инженерии [2] Mezhennaya 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: 421-425.

<https://cdelayremont.ru/obzor-infrakrasnyh-saun> [3] Обзор инфракрасных саун [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cdelayremont.ru/obzor-infrakrasnyh-saun>. Дата доступа: 20.01.2020.

[4.] Инфракрасные сауны Uborg [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uborgsauna.ru>. Дата доступа: 20.01.2020.

[5.] А.Н. Осипов, М.Х.-М. Тхостов, М.М. Меженная, В.А. Кульчицкий, М.В. Давыдов, Д.А. Котов, Н.И. Стетюкевич, В.Ф. Шевцов, Н.С. Давыдова, В. Ю. Драпеза. Инфракрасная кабина с автоматическим управлением параметрами воздействия на основе физиологических показателей пользователя. Научно-практический и научно-теоретический журнал «Новости медико-биологических наук». Мн., Т.15, №1, 2017. С. 66-71.

[6.] М.М. Меженная, В.Ю. Драпеза, М.Х.-М. Тхостов, Н.С. Давыдова, М.В. Давыдов. Алгоритм автоматического управления режимами работы инфракрасной кабины по результатам мониторинга физиологических показателей пользователя. Сборник научных статей XI международной научно-технической конференции «Медэлектроника–2018. Средства медицинской электроники и новые медицинские технологии». Мн., 2018. С. 71-75.

### **OPTIMIZATION OF THE INFRARED CABIN OPERATION ALGORITHM WITH BIOTECHNICAL FEEDBACK BASED ON RESEARCH**

**A.V. Vorobey**

*Master of Engineering  
Psychology and  
Ergonomics Department,  
BSUIR*

**M.M. Mezhennaya**

*Associate Professor of Engineering  
psychology and ergonomics  
BSUIR, Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor*

**A.N. Osipov**

*Pro-Rector on scientific  
work BSUIR, Candidate  
of Technical Sciences,  
Associate Professor*

**M.H.-M. Thostov**

*Senior Researcher, BSUIR*

**I.A. Telesh**

*Associate Professor of Engineering*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus  
E-mail: vorobey@bsuir.by*

**Abstract.** The article describes the results of research into the influence of infrared (IR) radiation on human physiological parameters at different modes of IR cabin operation. According to the research results, the effective mode of infrared radiation exposure on the human body is described, and an optimized algorithm of biotechnical feedback in the infrared cabin is proposed.

**Keywords:** infrared radiation, infrared cabin, monitoring of human physiological parameters, effective mode of operation of infrared cabin, sweating, algorithm, biotechnical feedback.