

5. *Korpan N.N.* Basics of cryosurgery. – Wien; New-York: Springer, 2001. 260 p.
6. *Rubinsky B.* Cryosurgery // *Ann. Rev. of Biomed. Engineering.* 2000. Vol. 2. PP. 157-187.
7. *Hu K.* Clinical and technical improvement of CT-guided cryoablation for lung cancer / In: *Modern cryosurgery for cancer.* 2012. PP. 445-458.
8. *Гасанов М.И., Ларин М.П., Прохоров Г.Г.* Вакуумный криотермозонд для лечения злокачественных опухолей // *Вакуумная техника и технология.* 2014. Т. 23. № 1. С. 21-24.
9. *Ферстер К.* Криогенная система «ERBE-CRYO-6» / В кн.: *Достижения криомедицины.* – СПб.: Наука, 2001. С. 69.
10. *Okajima J., Komiya A., Takeda H., Maruyama S.* Development of various cryoprobe using heat transfer control / In: *Modern cryosurgery for cancer.* 2012. PP. 211-248.

*Георгий Георгиевич Прохоров,  
д-р мед. наук, профессор, директор,  
ООО «Международный Институт криомедицины»,  
ведущий научный сотрудник,  
отделение общей онкологии и урологии,  
ФГБУ «НИИ онкологии  
им. Н.Н. Петрова» Минздрава РФ,*

*Микаил Ильяс-оглы Гасанов,  
генеральный директор,  
Валерий Валерьевич Клетиков,  
главный конструктор,  
ООО «МедСпецТруб»,  
Александр Евгеньевич Грицаенко,  
технический директор,  
ООО «Международный Институт криомедицины»,  
Александр Владимирович Гурин,  
инженер-конструктор,  
ООО «МедСпецТруб»,  
Денис Георгиевич Прохоров,  
канд. мед. наук, ст. научный сотрудник,  
ООО «Международный Институт криомедицины»,  
Марксэн Петрович Ларин,  
канд. техн. наук, генеральный директор,  
ООО «Вакуумные и криогенные системы»,  
Станислав Андреевич Понятовский,  
канд. техн. наук, инженер-конструктор,  
ООО «МедСпецТруб»,  
г. С.-Петербург,  
e-mail: gprokhorov@mail.ru*

*А.И. Жеребцова, Е.А. Жеребцов, А.В. Дунаев,  
К.В. Подмастерьев, А.В. Коськин, О.В. Пилипенко*

## **Метод и устройство диагностики функционального состояния периферических сосудов верхних конечностей**

### **Аннотация**

В статье предложены метод и устройство диагностики функционального состояния периферических сосудов верхних конечностей, позволяющие повысить качество диагностики за счет выявления ангиоспастических нарушений с меньшей вероятностью ложноотрицательного результата диагностики. Предлагаемый подход основан на совместном применении лазерной доплеровской флоуметрии и контактной термометрии при окклюзионной пробе. Результаты проведенных исследований могут быть использованы в различных областях медицины при разработке многофункциональных неинвазивных диагностических комплексов для диагностики и профилактики заболеваний, связанных с изменением функционального состояния периферических сосудов.

### **Введение**

Современный рынок медицинской техники предлагает врачу широкий выбор инструментов для оценки функционального состояния периферических сосудов. Тем не менее мониторинг микроциркуляторной функции оказывается весьма ограниченным вследствие их несоответствия ряду требований, среди которых наиболее существенным является достоверность диагностирования. По результатам некоторых экспертных оценок вероятность ложноотрицательного результата инструментальной диагностики микрососудистого русла превышает 0,3. В связи с этим актуальной задачей представляется развитие существующих, а также создание новых методов и средств диагностики, позволяющих достоверно выявлять функциональные нарушения периферических сосудов с меньшей вероятностью ошибки.

Уникальным методом оптической неинвазивной диагностики, позволяющим оценивать интенсивность кровотока в микроциркуляторном звене кровеносного русла, а также обнаруживать и исследовать коллективные ритмические процессы системы микроциркуляции крови [1], является лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ). Однако массовое внедрение метода ЛДФ в клиническую практику сдерживает недостаточно развитая методологическая база, не позволяющая врачу

быстро и достоверно выявлять нарушения в системе микроциркуляции крови по зарегистрированным ЛДФ-граммам [2]. В то же время известно [3], что нарушения периферического кровотока приводят к нарушению теплоснабжения поверхности тела, что дает возможность оценивать интенсивность кровотока и эффективность кровоснабжения в микроциркуляторном звене кровеносного русла с помощью методов термометрии и термографии [4], [5].

Совместное использование методов ЛДФ и термометрии позволяет формулировать комплексные диагностические критерии и представляется перспективным направлением совершенствования приборов и методов диагностики нарушений кровоснабжения периферических сосудов [6]. При этом дополнительные возможности оценки функционального состояния микроциркуляторного русла дает применение окклюзионной пробы (ОП), заключающейся в создании условий искусственной ишемии тканей конечности с последующим открытием кровотока и наблюдением восстановления тонического состояния сосудов [1].

В данной статье изложены результаты работы, целью которой являлось повышение качества диагностики функционального состояния периферических сосудов верхних конечностей за счет выявления ангиоспастических нарушений с меньшей вероятностью ложноотрицательного результата диагнос-



тики посредством разработки метода и устройства диагностики, основанных на совместном использовании ЛДФ и контактной термометрии при ОП.

### Теоретическое обоснование принципа диагностики

Как известно [7], на кожную температуру оказывает влияние комплекс разнородных параметров. Анализ взаимовлияния параметров показывает наличие замкнутой цепи обратной связи регуляции температуры нижележащих слоев биологической ткани в виде контура: температура биологической ткани, параметры функции зависимости перфузии от температуры, функция зависимости перфузии от температуры, перфузия ткани кровью, температура биологической ткани. Наличие данного контура в зависимости от знака обратной связи может приводить к возникновению нескольких устойчивых состояний с триггерным механизмом переключения между ними.

Снижение температуры васкуляризированной биологической ткани приводит к тому, что система микроциркуляции переходит в состояние спазма (низкий уровень перфузии), а повышение температуры влечет за собой открытие прекапиллярных сфинктеров и увеличение числа открытых капилляров (высокий уровень перфузии). Пороговое значение температуры перехода между данными состояниями зависит от функционального статуса периферических сосудов. Для выраженного проявления ангиоспастического состояния, обусловленного аномальным патологическим снижением перфузии при понижении температуры, предложено регистрировать сигналы ЛДФ и температуры при нахождении конечности испытуемого в воде. Данный эффект является одним из основополагающих принципов получения диагностической информации в предлагаемом методе.

С целью математического описания тепловой реакции руки человека на окклюзионную пробу и поиска диагностических параметров проведен аналитический обзор математических моделей взаимосвязи параметров кровоснабжения и кожной температуры [8]. Установлено, что с позиций возможности и точности оценки задачи теплопереноса в высоковаскуляризованных мягких тканях наиболее перспективным является биотепловое уравнение Пеннеса. Учитывая изменение перфузии ткани кровью в процессе исследования и полагая, что объект исследования (палец кисти) имеет форму цилиндра, модифицированное уравнение Пеннеса можно записать в виде

$$\rho_{\text{тк}} c_{\text{тк}} \frac{\partial T}{\partial t} + r^2 / r_{\text{max}}^2 W'_{\text{кр}}(t, T) c_{\text{кр}} [T - T_{\text{арт}}] = k(r, \varphi) \left[ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} \right], \quad (1)$$

где  $\rho_{\text{тк}}$  – плотность ткани,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c_{\text{тк}}$  – теплоемкость ткани,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $c_{\text{кр}}$  – теплоемкость крови,  $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ ;  $W'_{\text{кр}}(t, T)$  – функция перфузии ткани кровью в течение эксперимента, учитывающая периоды окклюзии,  $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$ ;  $T$  – температура биологической ткани,  $\text{К}$ ;  $T_{\text{арт}}$  – температура артериальной крови,  $\text{К}$ ;  $k(r, \varphi)$  – коэффициент теплопроводности,  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;  $t$  – текущий момент времени эксперимента,  $\text{с}$ ;  $r$  – радиальная координата точки в цилиндрической системе координат,  $\text{м}$ ;  $\varphi$  – угловая координата точки в цилиндрической системе координат,  $\text{град}$ .

Функция  $W'_{\text{кр}}(t, T)$  учитывает этапы ОП (предокклюзионный, окклюзионный и постокклюзионный) (2):

$$W'_{\text{кр}}(t, T) = W_{\text{кр}}(t, T) \times \left[ 1 - \theta(t - t_{\text{стартокл}}) + \theta(t - t_{\text{окончокл}}) \right] + W_{\text{бн}}, \quad (2)$$

где  $t_{\text{стартокл}}$  – момент времени начала окклюзии,  $\text{с}$ ;  $t_{\text{окончокл}}$  – момент времени окончания окклюзии,  $\text{с}$ ;  $\theta(t)$  – функция Хевисайда (тета-функция);  $W_{\text{бн}}$  – минимальная перфузия во время окклюзии («биологический ноль»).

Нелинейную связь между температурой биоткани и перфузией в пред- и постокклюзионный периоды описывает функция  $W_{\text{кр}}(t, T)$ :

$$W_{\text{кр}}(t, T) = \frac{W_{\text{max}}(t) \cdot \exp \left[ R \cdot (T - T_{\text{порог}}) \right]}{1 + \exp \left[ R \cdot (T - T_{\text{порог}}) \right]} + W_{\text{min}}, \quad (3)$$

где  $R$  – параметр крутизны нарастания перфузии с ростом температуры,  $\text{К}^{-1}$ ;  $W_{\text{min}}$  – перфузия при минимальной температуре,  $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$ ;  $T_{\text{порог}}$  – температура кожи, при которой перфузия равна среднему между  $W_{\text{max}}(t)$  и  $W_{\text{min}}$ ,  $\text{К}$ .

Резкий рост перфузии в постокклюзионный период объясняется увеличением просвета артериол и открытием прекапиллярных сфинктеров за счет накопления метаболических вазодилаторов. С течением времени вазоактивные вещества вымываются из сосудистого русла и перфузия снижается до первоначального уровня. Функцию изменения максимальной перфузии  $W_{\text{max}}(t)$  можно записать как

$$W_{\text{max}}(t) = W_{\text{ст}} + W_{\text{инк}} \cdot \exp(-|t - t_{\text{окончокл}}|/\tau), \quad (4)$$

где  $W_{\text{ст}}$  – максимальная перфузия в стационарном режиме до окклюзионной пробы,  $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$ ;  $W_{\text{инк}}$  – максимальная перфузия сразу после снятия окклюзии,  $\text{кг}/(\text{м}^3\cdot\text{с})$ ;  $\tau$  – постоянная времени спада величины максимальной перфузии после снятия окклюзии,  $\text{с}$ .

Для оценки перфузии выдвинута гипотеза о прямой пропорциональности данной величины и величины показателя микроциркуляции (ПМ, пф. ед.), определяемой по методу ЛДФ.

Для верификации предложенной математической модели в нее подставляли параметры перфузии, найденные по тестовым совместным записям кожной температуры и ПМ. Установлено, что модельная кривая находится в приемлемом соответствии с экспериментальной кривой кожной температуры. На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что предложенная модель может быть использована для теоретического исследования характера и степени влияния физиологических параметров микрососудистого русла пальцев рук на параметры регистрируемых термограмм, что позволяет обосновать выбор диагностических параметров обнаружения ангиоспастических нарушений.

### Экспериментальные исследования

В качестве экспериментальной установки предложен вариант технической реализации описанного принципа диагностики. Для регистрации показателя микроциркуляции использовался лазерный анализатор «ЛАКК-02» (ООО НПП «ЛАЗМА», г. Москва). Для регистрации температуры разработано и изготовлено двухканальное устройство контактной термометрии, отвечающее требованиям низкой инерционности (0,25 с), малого порога чувствительности (0,05 °С) и компактности первичных преобразователей температуры (5,9 × 2,1 мм). Для расположения ЛДФ-зонда вдоль поверхности кожи разработана насадка на световодный зонд приборов серии «ЛАКК». На рис. 1 представлен принцип действия насадки, заключающийся в преломлении хода световых лучей под углом 90°.

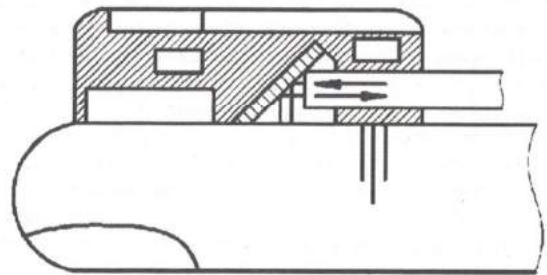


Рис. 1. Принцип действия насадки для волоконного зонда приборов серии «ЛАКК»

Экспериментальные исследования функционального состояния периферического кровотока пальцев рук проводились на двух группах – контрольной и основной. В контрольную группу входили добровольцы – лица мужского ( $n = 13$ ) и женского ( $n = 14$ ) пола, не имеющие по данным опроса диагностирован-



ных заболеваний системы кровообращения, костно-мышечной системы и соединительной ткани (условно здоровые добровольцы). Средний возраст в контрольной группе составил  $(23 \pm 5)$  лет. Основную группу составляли пациенты, мужчины ( $n = 5$ ) и женщины ( $n = 36$ ), находившиеся на стационарном лечении в ревматологическом отделении БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», среди которых больных ревматоидным артритом – 26 (II-III степень активности, II-III рентгенологическая стадия), артрозами суставов – 17, системной красной волчанкой – 3, анкилозирующим спондилитом – 1, подагрой – 1. Выбор данных патологий обусловлен тем, что нарушения в системе микроциркуляции крови проявляются уже на ранних стадиях и занимают одно из центральных мест в развитии заболеваний ревматологического профиля [9]. Средний возраст в основной группе составил  $(56 \pm 12)$  лет. Исследование заключалось в одновременной непрерывной регистрации сигналов ЛДФ и температуры и включало в себя следующие этапы [10]: 1) рука испытуемого на воздухе (базовый тест) – 2 мин; 2) рука испытуемого в емкости с водой температурой  $42^\circ\text{C}$  (обеспечение равных начальных условий) – 4 мин; 3) рука испытуемого в емкости с водой температурой  $25^\circ\text{C}$  – 23 мин. На данном этапе проводилась 3-минутная окклюзия плечевой артерии; 4) рука испытуемого в емкости с водой температурой  $42^\circ\text{C}$  (интенсификация кровотока) – 5...11 мин.

Пример совместной записи ЛДФ-граммы и кожной температуры во время проведения экспериментальных исследований представлен на рис. 2.

Для обоснованного выбора информативного параметра исследованы функции чувствительности потенциальных диагностических параметров к параметрам модели ( $R$ ,  $T_{\text{порог}}$ ,  $\tau$ ,  $W_{\text{шум}}$ ), изменения в которых наиболее вероятны при патологических состояниях сосудистого русла. Наиболее чувствительным температурным параметром стал показатель температурного отклика (ПТО, отн. ед.):

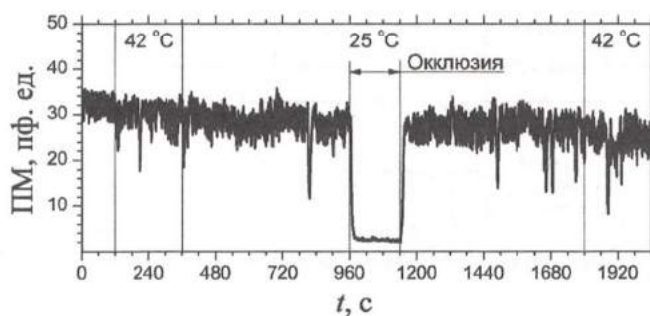
$$\text{ПТО} = \frac{(T_{\text{постоккл}} - T_{\text{вх}}) / (T_{\text{оккл}} - T_{\text{вх}})}{V}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{оккл}}$  – минимальная температура биоткани в окклюзионный период,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{постоккл}}$  – максимальная температура биоткани в постокклюзионный период,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_{\text{вх}}$  – температура воды на 3-м этапе проведения исследования,  $^\circ\text{C}$ ;  $V$  – объем дистальной фаланги исследуемого пальца,  $\text{см}^3$ .

С целью комплексной оценки микроциркуляторного русла и минимизации ошибок диагностики предложено применять составной диагностический критерий, включающий в себя параметры как кожной термометрии, так и ЛДФ.

Известно, что наиболее информативной оценкой адаптационных резервов в системе микроциркуляции крови методом ЛДФ при ОП является показатель «резервный кровоток» (РК), рассчитываемый следующим образом [1]:

$$\text{РК} = \frac{\text{ПМ}_{\text{max}}}{\text{ПМ}_{\text{исх}}} \cdot 100\%, \quad (6)$$



где  $\text{ПМ}_{\text{max}}$  – средний показатель микроциркуляции в первые 60 с после снятия окклюзии, пф. ед.;  $\text{ПМ}_{\text{исх}}$  – средний показатель микроциркуляции за 60 с до начала окклюзии, пф. ед.

Экспериментально установлено, что параметры РК и ПТО удовлетворяют принципам статистической независимости, а также значимости различий их значений, вычисленных для группы условно здоровых добровольцев и группы пациентов ревматологического профиля. Для классификации принадлежности обследуемого человека к категории лиц с наличием или отсутствием ангиоспастических нарушений синтезировано решающее правило:

$$\begin{cases} \text{РК} \cdot 0,028 + \text{ПТО} - 2,033 - 4,15 > 0, \text{ норма;} \\ \text{РК} \cdot 0,028 + \text{ПТО} - 2,033 - 4,15 \leq 0, \text{ наличие ангиоспастических нарушений.} \end{cases} \quad (7)$$

Верификацию решающего правила проводили с использованием метода скользящего экзамена (метод leave-one-out). Процедура верификации позволила выявить вероятность ложноотрицательного результата диагностики на уровне 0,12, что существенно ниже текущего уровня вероятности ошибки.

Дискриминантная кривая синтезирована таким образом, чтобы обеспечить высокую чувствительность критерия диагностики (0,88) при обеспечении хорошей специфичности (0,74). Изменение коэффициентов уравнения дискриминантной кривой приводит к изменению соотношения чувствительность – специфичность. На рис. 3 представлена ROC-кривая предложенного метода диагностики, иллюстрирующая качество предложенного метода бинарной классификации. Данная кривая показывает соотношение между чувствительностью и специфичностью метода при различном положении порога, разделяющего переход из области значений нормы в область ангиоспастических нарушений. Вычисленная площадь под кривой составила 0,88, что подтверждает высокий уровень качества классификатора.

Таким образом, синтезированное решающее правило позволило предложить метод диагностики функционального состояния периферических сосудов, характеризующий как резервные возможности кровотока с помощью метода ЛДФ, так и реактивность расположенных на большей глубине периферических сосудов с помощью метода кожной термометрии.

#### Описание устройства диагностики

Предложено устройство диагностики функционального состояния периферических сосудов верхних конечностей, основанное на совместном использовании методов ЛДФ и контактной термометрии при ОП (рис. 4).

Устройство работает по следующему принципу. Оператор посредством блока ввода и/или персонального компьютера через блок интерфейса вводит параметры процедуры в устройство управления, сигналы с которого передаются на блок ЛДФ [11], [12], блок температуры и компрессор. Перед началом процедуры в области исследования закрепляют световодный зонд прибора ЛДФ и первичные преобразователи температуры, а также надевают на плечо испытуемого окклюзионную манжету. Оператор инициирует начало процедуры и следит за этапами исследования. Окклюзия плечевой артерии в процессе

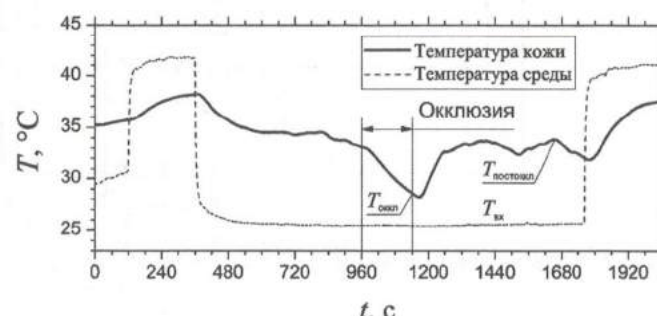


Рис. 2. Пример совместной записи ЛДФ-граммы (а) и кожной температуры (б) во время проведения экспериментальных исследований (для нормы)



эксперимента создается путем нагнетания компрессором воздуха в окклюзионную манжету. Информация о текущем давлении в манжете поступает с датчика давления в устройство управления. Таким образом, предлагаемое устройство диагностики функционального состояния периферических сосудов позволяет одновременно регистрировать показатель микроциркуляции крови методом ЛДФ и температуру методом контактной термометрии как при проведении базовых тестов, так и во время функциональных проб. Диагностические данные через блок интерфейса поступают в персональный компьютер, где с помощью специализированного программного обеспечения вычисляются параметры РК и ПТО. С помощью решающего правила делают вывод о функциональном состоянии периферических сосудов – наличии или отсутствии ангиоспастических нарушений. Структурная схема одного из вариантов реализации данного устройства представлена в [13].

## Заключение

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны метод и устройство диагностики функционального состояния периферических сосудов пальцев рук, базирующиеся на проведении ОП в термостабилизированной среде с одновременной записью сигналов ЛДФ и кожной термометрии. Результаты исследований могут быть использованы в различных областях медицины при разработке многофункциональных неинвазивных диагностических комплексов для диагностики и профилактики заболеваний, связанных с изменением функционального состояния периферических сосудов.

*Представленная работа выполнена в рамках базовой части государственного задания (№ 310) Минобрнауки РФ для ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК» (ФГБОУ ВО «Орлов-*

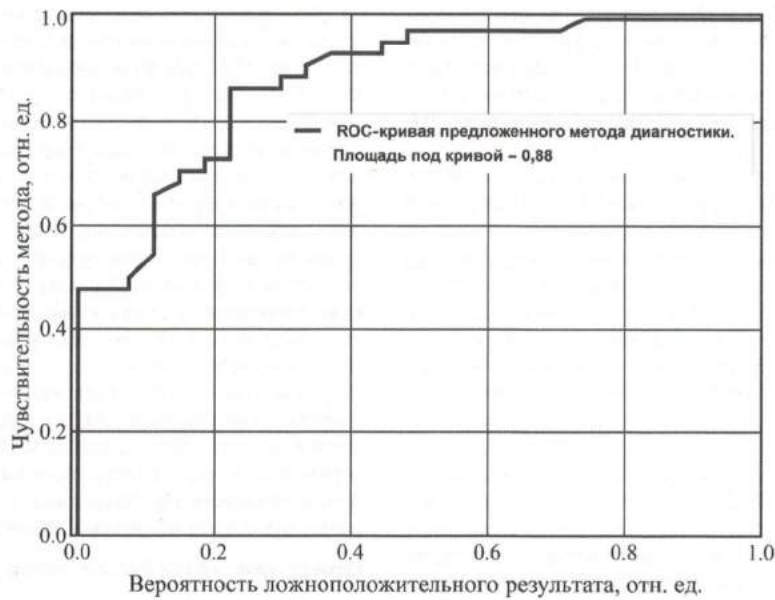


Рис. 3. ROC-кривая предложенного метода диагностики

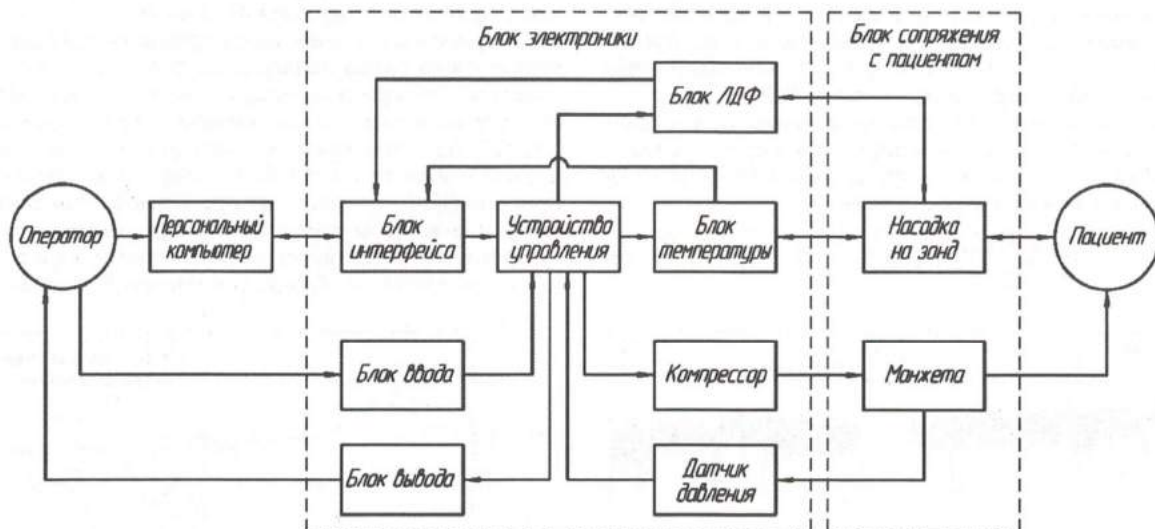


Рис. 4. Структурная схема устройства диагностики функционального состояния периферических сосудов верхних конечностей

ский государственный университет имени И.С. Тургенева»), а также гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых № МК-7168.2016.8.

Авторы выражают свою признательность заведующей ревматологическим отделением Л.С. Хахичевой и главному врачу В.Ф. Мурадянцу БУЗ Орловской области «ООКБ» за помощь в проведении экспериментальных исследований.

#### Список литературы:

1. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность (руководство для врачей). – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. 496 с.
2. Дунаев А.В., Новикова И.Н., Жеребцов А.И., Крупаткин А.И., Соколовский С.Г., Рафаилов Э.У. Анализ физиологического разброса параметров микроциркуляторно-тканевых систем // Биотехносфера. 2013. № 5 (29). С. 44-53.
3. Ley O., Deshpande C.V. Comparison of two mathematical models for the study of vascular reactivity // Computers in Biology and Medicine. 2009. Vol. 39. № 7. PP. 579-589.
4. Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Протопопов А.А., Сагайдачный А.А., Рытик А.П., Мирошниченко Е.В. Оценка функционального состояния кровеносных сосудов по анализу температурной реакции на окклюзионную пробу // Саратовский научно-медицинский журнал. 2009. Т. 5. № 4. С. 554-558.
5. Frick P., Mizeva I., Podtaev S. Skin temperature variations as a tracer of microvessel tone // Biomedical Signal Processing and Control. 2015. Vol. 21. PP. 1-7.
6. Дунаев А.В., Егорова А.И., Жеребцов Е.А., Макаров Д.С. Исследование возможностей тепловидения и методов неинвазивной медицинской спектрофотометрии в функциональной диагностике // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2010. № 6-2 (284). С. 95-100.
7. Diller K.R., Valvano J.W., Pearce J.A. Bioheat transfer / The CRC Handbook of Thermal Engineering / Edited by F. Kreith. – Boca Raton: CRC Press, 2010. Chapter 4.4. PP. 4-114-4-187.
8. Жеребцова А.И. Аналитический обзор математических моделей взаимосвязи параметров кровоснабжения и кожной температуры при окклюзионной пробе // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. № 5 (313). С. 104-113.
9. Андриенко А.В., Бубликов Д.С. Вегетативно-микроциркуляторные нарушения у больных ревматоидным артритом // Фундаментальные исследования. 2013. № 12. С. 163-166.
10. Жеребцова А.И. Метод диагностики функционального состояния периферических сосудов пальцев рук для пациентов ревматологического профиля // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2015. № 4 (312). С. 113-121.
11. Жеребцов Е.А., Жеребцова А.И., Дунаев А.В., Подмастерьев К.В. Метод и устройство метрологического контроля приборов лазерной доплеровской флоуметрии // Медицинская техника. 2014. № 4. С. 18-21.
12. Kozlov I.O., Zherebtsov E.A., Zherebtsova A.I., Dunaev A.V. The analysis of processing algorithms of laser Doppler signal in LabVIEW software / Symposium Proceedings of 2nd International Scientific Symposium «Sense. Enable. SPITSE». St. Petersburg, Russia, 22 June-03 July, 2015. – SPb.: St. Petersburg Electrotechnical University «LETI», 2015. PP. 225-227.

13. Дунаев А.В., Жеребцов Е.А., Егорова А.И., Рогаткин Д.А. Устройство для диагностики функционального состояния периферических сосудов / Патент 2503407 РФ, МПК А 61 В 5/026 (2006.01). Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК». № 2011152592/14; заявл. 22.12.2011 г.; опубл. 10.01.2014 г. Бюл. № 1.

Ангелина Ивановна Жеребцова,  
соискатель кафедры «Приборостроение,  
метрология и сертификация»,  
стажер-исследователь научно-образовательного  
центра «Биомедицинская инженерия»,  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева»,  
Евгений Андреевич Жеребцов,  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра «Приборостроение,  
метрология и сертификация»,  
научный сотрудник научно-образовательного  
центра «Биомедицинская инженерия»,  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева»,  
Андрей Валерьевич Дунаев,  
канд. техн. наук, доцент,  
кафедра «Приборостроение,  
метрология и сертификация»,  
ведущий научный сотрудник,  
Научно-образовательный центр  
«Биомедицинская инженерия»,  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева»,  
Константин Валентинович Подмастерьев,  
д-р техн. наук, профессор,  
зав. кафедрой «Приборостроение,  
метрология и сертификация»,  
директор Учебно-научно-исследовательского  
Института информационных технологий,  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева»,  
Александр Васильевич Коськин,  
д-р техн. наук, профессор,  
и.о. проректора по информатизации  
и спецпроектам,  
Ольга Васильевна Пилипенко,  
д-р техн. наук, профессор, и.о. ректора,  
ФГБОУ ВО «Орловский государственный  
университет им. И.С. Тургенева»,  
г. Орел,  
e-mail: angelina.zhrebtsova@yandex.ru

\* \* \* \* \*