



# ОПТИЧЕСКИЙ ДВУХКАНАЛЬНЫЙ ПУЛЬС-ОКСИМЕТР НА ОСНОВЕ ЛАЗЕРНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ЗАДАЧ В МЕДИЦИНСКОЙ ПРАКТИКЕ

Р.Н.Хизбуллин, [Robert.Khizbullin@mail.ru](mailto:Robert.Khizbullin@mail.ru),  
Казанский государственный энергетический уни-  
верситет, Казань

Пульс-оксиметрия – метод измерения насыщения крови пациента кислородом. Как неинвазивный метод он был введен в медицинскую практику в 1983 году [1] и признан во всем мире стандартом медицинской помощи в анестезиологии. Метод также широко используется в других областях медицины, и это дало мощный импульс производству и серийному выпуску различных типов пульс-оксиметров. Однако проблемы соответствия методов измерения, регистрации и обработки биосигналов, реализованных в этих приборах, требованиям медицинской практики остаются нерешенными. Пульс-оксиметры нового поколения способны устранить влияние источников этих проблем.

## ВВЕДЕНИЕ. ПОСТАНОВКА МЕДИЦИНСКИХ ЗАДАЧ

Пульс-оксиметрический метод – диагностический метод измерения насыщения кислородом крови и определения процента содержания в ней кислорода. На сегодняшний день его использование весьма перспективно для медицинской практики и исследований.

Поскольку проблема в лечении и терапии (регистрация функции "воздействие – ответная реакция организма, то есть отклик") приобретает особую важность в медицине, регистрация содержания кислорода в крови пациентов в процессе лечения является одним из важнейших параметров, играющих роль "откликов"

# DUAL-CHANNEL OPTICAL PULSE OXIMETER ON THE BASE OF LASER SENSORS IN ORDER TO SOLVE ACTUAL PROBLEMS IN MEDICAL PRACTICE

R.N.Khizbullin, [Robert.Khizbullin@mail.ru](mailto:Robert.Khizbullin@mail.ru), Kazan  
state power engineering university

Pulse oximetry is a noninvasive method of measurement that provides information about the patient's oxygen saturation of the blood has been introduced into medical practice in 1983 [1]. Recognized worldwide as the standard of care in anesthesia, it is widely used in other areas of medicine. However, with such intense development and active use of this method in medical practice, which gave a powerful impetus to the production and serial production of medical equipment manufacturers around the world, various types pulse oximetry equipment, there are basic unresolved problems associated with the production of new urgent medical requirements for quality indicators registration, monitoring, measurement and processing of biosignals. These pressing questions posed by medical devices to developers require new scientific and technical approaches and implementation of new technological solutions in hardware and technical part of the new generation pulse oximeters.

## MEDICAL GOALS SETTING

Pulse oximetry method as the diagnostic measurement of blood oxygen saturation and blood oxygen level is nowadays rather perspective in use and researches in medicine.

As much as therapy problem (registration of the result "effect-the body's reaction", i.e. response) becomes so important, blood level registration during therapy is one of the most important parameters ("responses") of therapeutic effect [2, 3]. Signal isolation of photobiological effect is the main problem using therapeutic, physiotherapeutic, diagnostic laser and other equipment. The challenge of response "effect-the body's reaction" realization is the creation

на лечебное воздействие [2,3]. Основная проблема при использовании лечебной, физиотерапевтической, диагностической лазерной и другой техники заключается в выделении сигнала фотобиологического воздействия. Задачи реализации функции "воздействие – ответная реакция организма" состоят в создании адекватных поставленным задачам метрологических методик, в разработке и применении соответствующих медико-технических технологий. Задача актуальна при определении адекватных параметров ответных реакций ("откликов") организма на лечебное воздействие, в том числе на электро-свето-лазерное воздействие, и представляет собой одну из частей главной задачи многопараметрической биодозиметрии: 1) выявление функциональной зависимости между совокупностью различных параметров воздействия и соотносимыми параметрами ответной реакции организма; 2) использование этой функциональной зависимости для управления параметрами воздействия.

В этой связи пульс-оксиметрический метод регистрации процентного содержания кислорода в крови на какое-либо лечебное воздействие является для врача важнейшей обратной связью ("откликом" организма) и содержит информацию по дальнейшему воздействию и биодозиметрическому контролю.

Как известно, основное назначение пульс-оксиметра – своевременное обнаружение и предотвращение гипоксии (низкой оксигенации ткани) и гипоксемии (низкой оксигенации крови) пациента. Одним из преимуществ пульс-оксиметра является возможность неинвазивного, непрерывного, безопасного и эффективно обследования крови пациента. Нормальное содержание кислорода в крови у здорового человека составляет 90–100%. То есть изменение значения параметра даже на 1% отражает изменение общего состояния организма. В связи с этим возникает необходимость повышения точности определения значения данного параметра в клинических условиях. Значение получают расчетным путем, исходя из полученной фотоплетизмограммы (ФПГ) [4, 5].

Современной практикой дозиметрического контроля терапевтических параметров воздействия востребованы [6] новые биоуправляемые методы (в том числе и в электро-свето-лазерной терапии). Проведение электро-свето-лазерных терапевтических процедур всегда тесно связано с количественным понятием воздей-

of metrologic methods due to this tasks, medical and technical development of technologies and their application.

Existing urgent task of the body's response adequate parameters on therapy effect including electro-light-laser effect is the part of the main problem of multiparametric biodosimetry. 1) determination of functional dependence between different exposure parameters and correlated body's response parameters; 2) application of this functional dependence for exposure parameter control.

That's why pulse oximetry method of blood oxygen level after certain therapy effect is the most important feedback (the body's response) and it contains information for further activities and biodosimetric control.

As is known the main purpose of pulse oximeter is timely detection and prevention of patient's hypoxia (low tissue oxygenation) and anoxemia (low blood oxygenation). One of the pulse oximeter's advantages is a possibility to provide noninvasive, continuous, safe and effective patient's blood research. Normal oxygen content in healthy man's blood is 90–100%, so change even 1 percent affects all body's physical state. That's why there is a necessity in exact determination of this parameter in clinical conditions, which has been got by calculation on the base of photoplethysmogram. (FPG) [4, 5].

At present new biocontrolled dosimetric methods of therapy effect parameters, including electro-light-laser therapy, are in demand [6]. Electro-light-laser therapeutic procedure performing is closely related to the exposure quantity on the biological body and individual adequacy control of the effective quantity taken by the body (Arndt-Shulz law). Application of pulse oximeter as a body state recorder helps doctor not only to fix qualitative changes during therapy period but to automate therapy process. Photoplethysmogram here shows blood supply dynamics of the body. It must be mentioned, that a lot of existing pulse oximeters cannot always satisfy medician's demands in precision characteristics, there is no feedback from physiotherapeutic device when certain values are achieved as so as recorded data dynamics. So we have another urgent medical problem –automation of the treatment process, in other words, there is a need in automated workplace of the doctor (AWP), which is in demand [7].

As of this writing there have already been articles about dual-channel optical pulse oximeter's application (on the base of LED sensors ( $\lambda_1 \approx 940 \pm 20$  nm;  $\lambda_2 \approx 640 \pm 20$  nm)). Application of these sensors in pulse oximeters leads to "physiological

ствия на биологический объект и индивидуальным контролем достаточности восприятия количества воздействия организмом (закон Арндта-Шульца). Применение пульс-оксиметра в качестве регистратора изменения состояния организма, на которое оказывается терапевтическое воздействие, поможет врачу не только фиксировать качественные изменения в процессе лечения, но и автоматизировать процесс лечения. В данном аспекте ФПГ отражает динамику кровоснабжения в организме. Здесь необходимо отметить, что большинство существующих пульс-оксиметров не всегда в полном объеме могут удовлетворить потребностям врачей из-за неопределенности результатов измерений регистрируемых данных. То есть при лечении и отслеживании динамики характеристик возникшие погрешности нарушают обратную связь с лечебным физиотерапевтическим аппаратом. Отсюда вытекает новая актуальная медицинская задача – в автоматизации процесса лечения, другими словами, есть необходимость создания автоматизированных рабочих мест врача (АРМ врача) при проведении различных лечебных процедур, что очень востребовано на сегодняшний день [7].

К настоящему моменту известны некоторые публикации по применению двухканальной пальцевой пульс-оксиметрии на основе светодиодных датчиков ( $\lambda_1 \approx 940 \pm 20$  нм;  $\lambda_2 \approx 640 \pm 20$  нм). Применение таких датчиков в пульс-оксиметрах неизбежно приводит к "физиологической помехе" при регистрации ФПГ-сигнала за счет разного количества поглощения света основными информативными составляющими кровотока – окси- и дезоксигемоглобином. Следовательно, получить необходимую точность – менее 5%, повторяемость и адекватность ФПГ-сигнала невозможно (а это важные качественные показатели биосигнала). Такие пульс-оксиметры для решения поставленных медицинских задач, например по биодозиметрии, непригодны, поэтому целесообразно использовать третью длину волны ( $\lambda = 805 \pm 0,75$  нм) [1, 8, 9]. Длина волны излучения 804,25–805,75 нм является "изобетической точкой" для окси- и дезоксигемоглобина. То есть спектральные характеристики этих двух веществ на этой длине волны совпадают. Следовательно, можно избежать "физиологической помехи" при получении фотоплетизмограммы, использовать ее для оптимизации терапевтических параметров и для автоматизации процесса лечения с помощью ФПГ-дозиметра.

"disturbance" during FPG- signal recording because of the difference in light absorption by the main parts of blood structure- oxy- and deoxyhemoglobin. Consequently, there is impossible to get required accuracy-less 5%, frequency and adequacy of FPG-signal (important biosignal parameters). Such pulse oximeters are useless for the medical goals, for example, in biodosimetry, that's why the third kind of wavelength has to be used ( $\lambda = 805 \pm 0,75$  nm) [1, 8, 9]. Emission wavelength 804,25...805,75 nm is "isobestic point" for oxy- and deoxyhemoglobin, i.e. there is the wavelength, where spectral characteristics of these components match. So, we can avoid "physiological disturbance" on photoplethysmogram, use it for therapeutic parameter optimization and for automation of the treatment process with the help of photoplethysmographic dosimeter. A lot of researches showed that in modern models of pulse oximeters the reason of pulseoximeter's "alarm" activation mainly lies in artifacts, not in real danger. The simplest models of pulse oximeters without special disturbance safe systems often show artifact information. But even in expensive models from known companies you can get response of device on artifact stronger than on the real danger.

Application of pulse oximetry method in medicine has not solved problems related to low perfusion of peripheral blood veins, so some clinical or technical circumstances can hinder the process of getting the data and to interpret them. All above concerning medical "desires" must be fulfilled in new developed pulse oximeters.

### TECHNICAL GOALS SETTING

Well, let emphasize and generalize some medical practical problems we see while using pulse oximetry, and they are not solved yet in a lot of modern models of pulseoximeters:

- some clinical or technical circumstances can hinder the process of getting the pulse oximeter's data and to interpret them;
- low perfusion of peripheral blood veins
- sensibility to artifacts;
- impossibility to integrate pulse oximeters into automated doctor's workplaces.

The author of present article has analysed the ways of solutions of the problems above and as a result new pulse oximeter PSO-2CL (dual-channel optical pulse oximeter) was developed.

Main parameters comparison between modern devices and the author's one (Table). Having analyzed data from Table1 we can resume, that developed pulse oximeter PSO-2CL is not only the same in main

Многочисленные исследования выявили, что в современных пульс-оксиметрах в большинстве случаев причиной активации "тревоги" пульс-оксиметра служит не реальная опасность, а артефакты. Наибольшая склонность к отбражнению артефактной информации отмечается у простейших моделей пульс-оксиметров, не имеющих специальных систем защиты от помех. Но даже в дорогих пульс-оксиметрах, выпускаемых известными фирмами, реакция на артефакты схожа с реакцией на реальную опасность.

При использовании пульс-оксиметрического метода в медицинской практике не решены также проблемы связанные с низкой перфузией периферических сосудов и некоторые клинические и технические ситуации могут помешать нормальному снятию данных и интерпретации показаний пульс-оксиметра. Все вышесказанные медицинские "пожелания" должны быть реализованы во вновь разрабатываемых пульс-оксиметрах.

### ПОСТАНОВКА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Итак, выделим и обобщим ряд медико-практических проблем, которые возникают при использовании пульс-оксиметров, реализующих классические решения:

- некоторые клинические и технические ситуации могут помешать нормальному снятию данных и интерпретации показаний пульс-оксиметра;
- низкая перфузия периферических сосудов;
- восприимчивость к артефактам;
- отсутствие возможности интегрирования пульс-оксиметров в автоматизированные рабочие места врача.

Далее будут проанализированы возможные пути решений поставленных проблем, и в итоге, с учетом всех медицинских требований, будет рассмотрена разработка пульс-оксиметра ПСО-2КЛ (пульс-оксиметра оптического двухканального лазерного). Сравнение основных параметров выпускаемых аппаратов с особенностями разработанного автором пульс-оксиметра приведен в таблице. Анализ ее данных позволяет сделать вывод, что разработанный пульс-оксиметр ПСО-2КЛ не только не уступает, но по некоторым параметрам превосходит стандартные разработки в данной области. Эти достижения получены благодаря внедрению ряда новых технических решений, рассмотренных ниже.

parameters of such devices, but is the better in some of them. It has been reached by application of some new technical methods, given below.

### METHODOLOGICAL BASE OF OPERATION PRINCIPLE OF PSO-2CL

The developed pulse oximeter principle of operation is based on optical pletismography method. An optical pletismography method is based on the fact that some biological subject facilities are associated with its optical characteristics (coefficient of absorption, scattering, refraction, etc.) and changes of body's facilities leads to changes in its optical characteristics. In PSO-2CL the radiation of wavelength range from 640 to 1100 nm, is used, so called "therapy window" [10]. This radiation goes through body's tissue and is modulated by tissue optical characteristics changes because of body's physiologic processes. In PSO-2CL large veins pulse blood supply is registered. PSO-2CL registers the intensity modulation of optical radiation, caused by coefficient of transmittance. This modulation is directly associated with pulse blood supply, so we can estimate the blood circulation intensity due to the change curve of recorded radiation intensity threw the body's tissue.

Optical pletismography method is divided into two groups depended on plethysmogram registration conditions: registration of light signal and back scattering from turbid environ using Lambert law. While registration of light signal coefficient of attenuation makes the greatest contribution into coefficient of transmittance of the body. While registration of and back light scattering – the contributions of coefficients of absorption, scattering and refraction are equal. Examples of pulse oximeter constructions with different types of optical pairs (light source+ photodetector) are shown on the Pict.1 and Pict.2.

Each group has its positive and negative sides. One of the most important parameters is a signal intensity, getting from the body. получаемого сигнала. Light quantity going through thin tissues is more than back scattering quantity, besides light going through tissue is located in certain place. Consequently, light intensity is higher in transmittance sensors.

The main disadvantage of transmittance sensors is connected with its limited application only for peripheral parts of the body – fingers, toes, earlobes, nose. Back light scattering pulse oximeters can be located on the any place of the body.

There are following methods to eliminate the errors in modern pulse oximeters:

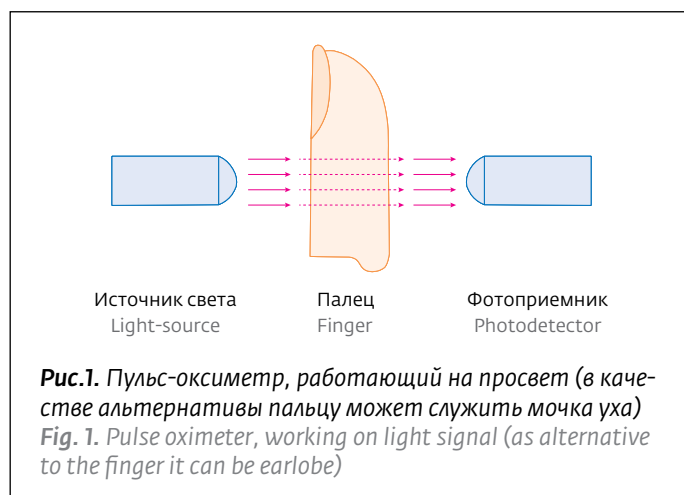


## МЕТОДОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНОВА В ПРИНЦИПЕ РАБОТЫ ПСО-2КЛ

Принцип действия разработанного пульсоксиметра основан на методе оптической плетизмографии. Метод оптической плетизмографии базируется на том факте, что некоторые свойства биологического объекта связаны с его оптическими характеристиками (коэффициентом поглощения, рассеяния, преломления и пр.), и изменения свойств биологического объекта приводят к изменению его оптических характеристик. В ПСО-2КЛ применяется оптическое излучение диапазона длин волн от 640 до 1100 нм, так называемое "терапевтическое окно" [10]. Это излучение проходит через ткани организма и модулируется изменением оптических характеристик ткани вследствие физиологических процессов в организме. В ПСО-2КЛ регистрируется пульсовое кровенаполнение крупных сосудов. ПСО-2КЛ регистрирует модуляцию интенсивности оптического излучения, вызванную коэффициентом пропускания. Эта модуляция непосредственно связана с пульсовым кровенаполнением, и таким образом, по форме огибающей изменения интенсивности зарегистрированного оптического излучения, прошедшего через ткани биологического организма, можно судить об интенсивности процесса кровообращения.

Метод оптической плетизмографии разделён на две группы в зависимости от условий регистрации плетизмограммы: регистрация сигнала на просвет и обратное рассеяние мутной средой с использованием закона Ламберта. При регистрации сигнала на просвет основной вклад в изменение коэффициента пропускания биологического объекта вносит коэффициент ослабления. При регистрации рассеянного света вклады коэффициента поглощения, коэффициента рассеяния и коэффициента отражения в коэффициент пропускания становятся соизмеримыми. Примеры конструкций пульсоксиметров с различным типом оптопар (источник света + фотоприемник) представлены на рис.1 и рис.2.

Обе группы пульсоксиметров обладают как достоинствами, так и недостатками. Одним из важных параметров является величина получаемого сигнала. Так как интенсивность излучения, проходящего через тонкие ткани, оказывается больше, чем интенсивность излучения, рассеянного обратно, и так как излучение, проходящее через ткань, сосредоточено в конкретной области, то вероятность детектирования излучения оказы-

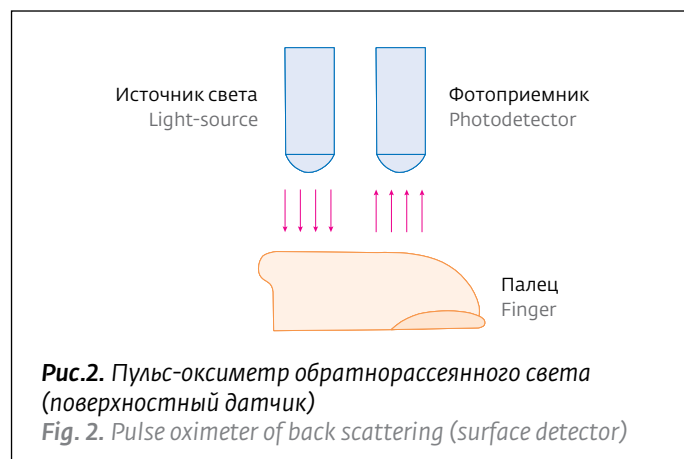


- shielding of sensor and device cable (to avoid detector brightening and effect of closely located electromagnetic equipment);
- parameter indication averaging;
- sensor sensibility increase;
- increase of photodetector "signal/noise" ratio, etc.

However the most serious problem is the artifact as the body's moving, especially of its part with the sensor. It will lead to venous addition and as a result to photoplethysmogram disturbance. This artifact causes serious errors, and some methods and signs were designed to avoid it:

- pulse signal of enviroining tissues and following changes of the base signals;
- the difference between artifact signal and "normal" signals in wave channel;
- calibration curve special construction for the moving body when breathing exact quantities of oxygen.

But in addition to all methods above we can observe another one-accelerometer. Application of such kind of devices is widely used in different systems.





вается выше для датчиков, работающих на пропускание.

Основным недостатком датчиков пропускания является то, что их применение ограничивается периферийной частью тела, например, кончиками пальцев, ног, ушей и носа. Пульсоксиметры обратного рассеяния могут быть размещены на теле практически на любом месте.

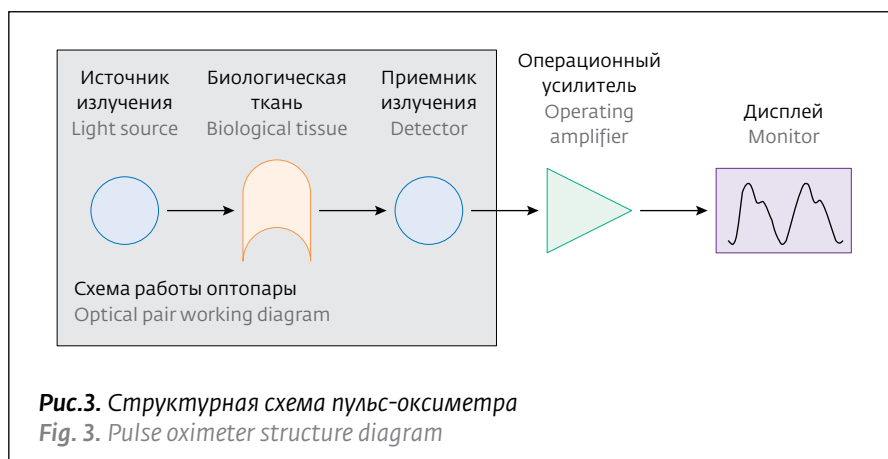
В современных пульсоксиметрах с источниками возникновения инструментальных погрешностей прибора борются, применяя следующие методы:

- экранирование датчика и кабелей аппарата (для устранения засветки приемника или влияния близко расположенных электромагнитных приборов);
- усреднение индикации параметров;
- повышение чувствительности сенсоров;
- увеличение отношения "сигнал-шум" фотоприемника и т.д.

Однако самым серьезным источником погрешностей является наличие такого артефакта, как движение части тела человека, на которую прикреплен датчик. Движение приводит к венозному примешиванию и к искажению получаемой ФПГ. Для устранения этого артефакта были разработаны несколько методов на основе вводимых признаков:

- наличие пульсации сигналов окружающих тканей и соответственное изменение базовых сигналов;
- отличия формы сигналов артефактов в канале волн от "нормальных" ударов;
- специальное построение калибровочной кривой для движущегося субъекта в условиях дыхания различных строго установленных концентраций кислорода.

Однако рассмотрим еще один метод – применение акселерометра. Использование подобных приборов сейчас широко распространено в различных системах. Акселерометр измеряет ускорение движущегося объекта. Используя до трех компонент, можно учитывать ускорение по всем трем осям координат.

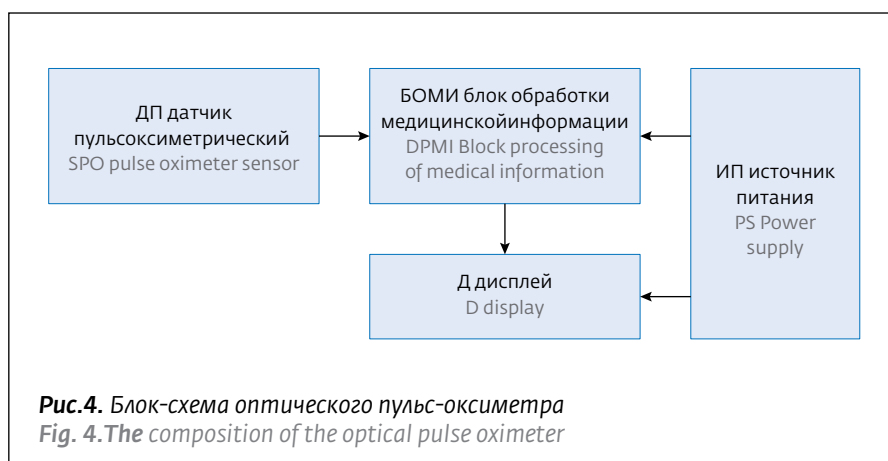


Accelerometer measures acceleration of moving body. Using up to 3 components we can consider acceleration for each of three coordinate axis.

### JUSTIFICATION AND STRUCTURE OF DEVELOPED DUAL-CHANNEL OPTICAL PULSE OXIMETER

Some new technical decisions were used in proposed dual-channel optical pulse oximeter PSO-2CL (structure diagram is shown on Picture 3), with the help of which some tasks can be solved. First to decrease artifact effect significantly so to get stable measurements and useful information. Therefore proposed dual-channel optical pulse oximeter can provide high-precision recording of blood vessels state, blood supply, vein pathology on certain places of the body, that is very important at the beginning of decease, it can fix these data and transfer them to computer system of AWP.

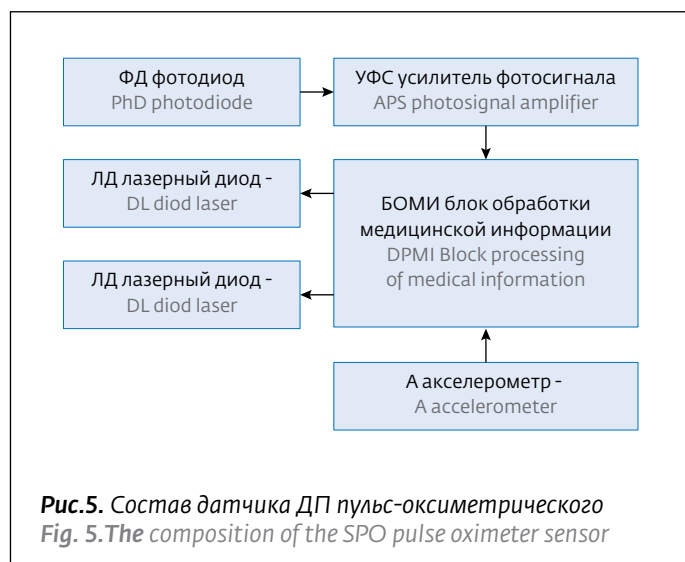
The choice of sensor light source. LED (light emission diodes) are the most popular at developers because they are cheaper than lasers. That's why they are widely used in pulse oximeters with low-precision



## ОБОСНОВАНИЕ И СТРУКТУРА РАЗРАБОТАННОГО ОПТИЧЕСКОГО ДВУХКАНАЛЬНОГО ПУЛЬС-ОКСИМЕТРА

В представленном оптическом двухканальном пульс-оксиметре ПСО-2КЛ (рис.3) реализован ряд новых технических решений. Они позволили существенно снизить влияние артефактов и тем самым достичь устойчивого измерения и снятия полезной информации. Предлагаемый оптический двухканальный пульс-оксиметр с высокой точностью регистрирует состояния кровеносных сосудов кровотока на определенных участках тела, выявляет различные патологии сосудов (что очень важно на ранних стадиях заболевания), обладает высокой достоверностью регистрации данных с возможностью автоматической передачи данных в компьютер АРМ врача.

При выборе источников излучения исходили из следующих предпосылок. Наибольшей популярностью у разработчиков пользуются СИДы (светодиоды), в связи с их небольшой стоимостью по сравнению с лазерами. Поэтому их широко применяют в пульс-оксиметрах с низким классом точности для реализации в широких мас-



data. Such measurement instruments are not allowed for exact researches and patient state monitoring under treatment. LED's main disadvantage is connected with a disability to give narrow light stream with minimal deviation ( $\pm 5 \div 10$  nm). Lasers succeed in it. Besides they can provide the stronger light stream, that leads to the stronger signal on



сах. Такие измерительные средства не подходят для точных медицинских исследований и наблюдений состояния пациента в процессе лечения. Основной недостаток СИДов – невозможность реализовать узкий спектральный пучок с минимальным разбросом длин волн от требуемого (5–10 нм). С такой проблемой лучше справляются лазеры. При этом они позволяют получать более мощный поток излучения, что впоследствии дает более сильный сигнал на приемнике излучения. При этом лазер может работать в разных режимах (как в постоянном, так и в импульсном). Благодаря чему можно исключить губительное воздействие лазера на биологическую ткань.

Разработанный ПСО-2КЛ конструктивно представляет собой прибор, в состав которого входят несколько блоков, а также лазерный датчик или датчик пульс-оксиметрический, соединённый с прибором посредством кабеля (рис.4):

- датчик пульс-оксиметрический (ДП);
- блок обработки медицинской информации (БОМИ);
- дисплей (Д);
- источник питания (ИП).

## НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, РЕАЛИЗОВАННЫЕ В ПСО-2КЛ

ПСО-2КЛ регистрирует ФПГ с помощью лазерного датчика. Первичным преобразователем физической величины интенсивности оптического излучения в электрический ток является фотодиод, установленный в ДП. В серийно выпускаемых фотоплетизмографах, а также в пульс-оксиметрах в состав датчика не входят схемы усиления сигнала фотодиода, в результате чего на качество регистрируемого сигнала сильно влияет кабель (длина кабеля, количество экранов, тип диэлектрика, определяющий величину трибоэлектрического эффекта), соединяющий датчик с прибором, а также величина импульсного тока для включения светодиода. В созданном ПСО-2КЛ для исключения подобной проблемы усилитель расположен непо-

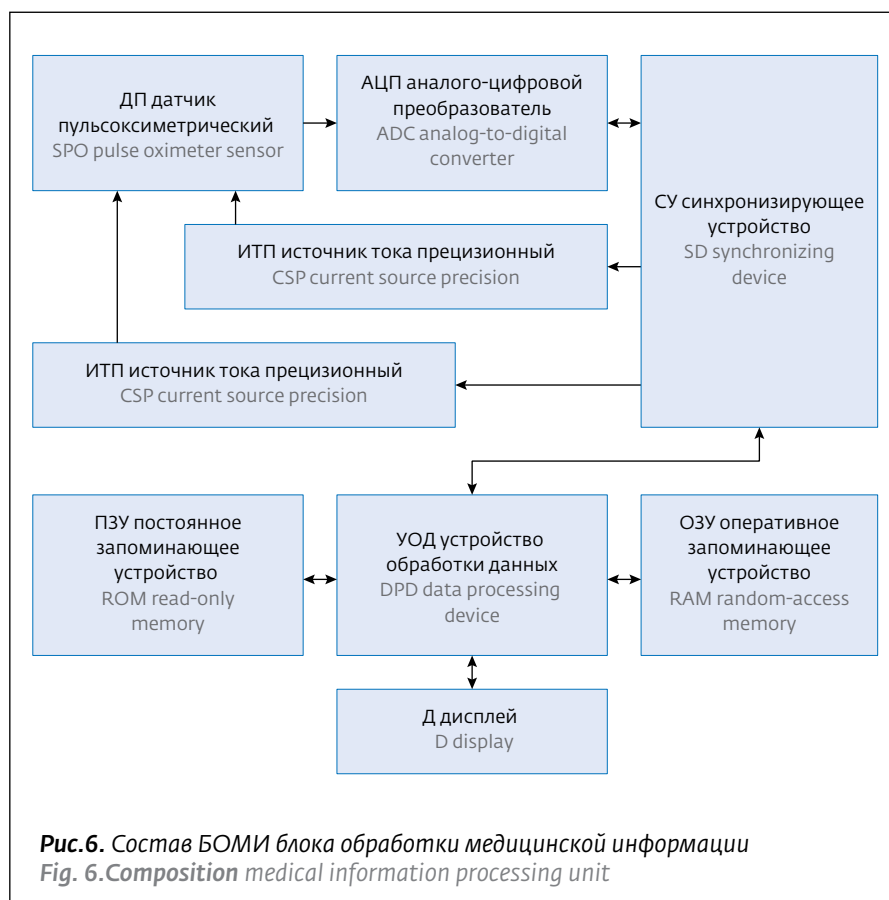
детектор. Moreover, laser can work in different states – as in constant, so in pulsed, in order to avoid laser fatal effect to biological material.

Developed PSO-2CL is composed of several blocks, including laser sensor or pulse oximeter sensor, connected with device with cable (Pic.4):

- pulse oximeter sensor (SPO);
- block processing of medical information (DPMI);
- display (D);
- power supply (PS).

## NEW TECHNICAL SOLUTIONS IN PSO-2CL

PSO-2CL registers photoplethysmogram with the help of laser sensor. The first converter of optical radiation intensity into electrical current is photodiode in SPO. In industrial photoplethysmographs as well as in pulse oximeters the detector does not have photodiode signal amplification system, that's why registered signal quality depends on cable, connecting sensor and device (cable length, number of screens, kind of dielectric, determining triboelectric effect level) as well as pulse current value for light diode acting. To avoid the problem in developed PSO-2CL the amplifier is located in SPO. This approach allows to decrease some requires to the cable, connecting SPO and device,



**Рис.6. Состав БОМИ блока обработки медицинской информации**  
**Fig. 6. Composition medical information processing unit**



средственно в ДП. Такой подход позволяет снизить требования к кабелю, соединяющему ДП, и к прибору непосредственно, а также снизить влияние импульсных токов включения лазерных диодов на сигнал фотоплетизмограммы.

Сигнал с ФПГ, как уже было сказано в постановке медицинской задачи, сильно подвержен влиянию артефактов движения пациентов. Различные производители медицинской техники, в том числе пульс-оксиметров и фотоплетизмографов, применяют разнообразные способы обработки и проверки сигнала ФПГ. Данные способы предназначены для обнаружения артефактов движения пациента по зарегистрированному сигналу. Необходимо отметить, что выявление артефактов представляет большую сложность для разработчиков, поскольку необходимо с достоверной точностью уметь отличать артефакты движений от аритмий. В ПСО-2КЛ в датчике ДП применен акселерометр, позволяющий намного упростить обработку и проверку фотоплетизмограммы и в то же время повысить достоверность сигнала и уверенно отличать артефакт движения от аритмии. Акселерометр датчика ДП регистрирует величину ускорения, которая возникает при движении пациента. Движения пациента могут иметь различные направления, поэтому в ДП применен трехосевой акселерометр.

С помощью лазерных ДП, установленных на необходимом участке тела пациента, регистрируется сигнал фотоплетизмограммы. ДП состоит из двух полупроводниковых лазерных диодов и одного фотодиода, регистрирующего оптическое излучение от тканей пациента, причем фотодиод регистрирует как прошедшее через ткани излучение, так и отраженное и рассеянное излучение в тканях. Сигнал с фотодиода поступает в БОМИ, где фотоплетизмограмма оцифровывается и происходит обработка сигнала. С выхода БОМИ цифровой сигнал поступает в дисплей (Д),

Сравнение характеристик пульс-оксиметров, имеющих различные типы оптических датчиков

Comparison of pulse oximeters with different kinds of optical sensors

Параметры Parameters	Диапазон значений Range	Характеристики разработанного пульс-оксиметра ПСО-2КЛ Characteristics of developed pulse oximeter PSO-2CL	Усредненные характеристики пульс-оксиметров-аналогов Average characteristics of analogic pulse oximeters
Число длин волн для измерения сатурации Number of wavelengths for saturation measurement	3	3	2
Диапазон измерения пропускания биотканей Range measurement for biotissue transmission	От 0,00001 до 0,1000	От 0,00001 до 0,1000	От 0,001 до 0,1000
Частота дискретизации, кГц Sample frequency, kHz	0,1–1	1	0,03
Дискретизация сигнала плетизмограммы, бит plethysmogram signal discretisation, bit	10–12	12	8
Длина волны оптического излучения датчика пульс-оксиметрического, нм Pulse oximeter sensor optical radiation wavelength, nm	640–1100	640, 805, 940	660, 940

and to minimize laser diode pulse current effect to photoplethysmogram signal.

Photoplethysmogram signal as it was already mentioned is strongly influenced by moving patient artifact. Different producers of photoplethysmographs and pulse oximeters use various methods of photoplethysmogram signal treatment and verification. These methods serve for patient moving artifact detection by signal analyses. It must be mentioned that artifact detection is rather complicated task for producers as movement artifact has to be distinguished from arrhythmia. Accelerometer used in PSO-2CL in SPO allows to simplify photoplethysmogram signal treatment and verification and in the same time to increase signal validity and to distinguish movement artifact from arrhythmia. Accelerometer in SPO records acceleration value because of the patient moving. Directions of this moving can be

где происходит отображение информации в удобном формате для пользователя.

Источник питания (ИП) необходим для питания постоянным током блоков БОМИ и Д. Входным напряжением для ИП является сеть переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц.

В конструкцию ДП (рис.5) входят два лазерных диода (ЛД), один фотодиод (ФД), усилитель фотосигнала (УФС) на базе прецизионных операционных усилителей, один акселерометр (А).

В состав ДП входят два ЛД и один ФД, образующие две оптические пары. ЛД излучают оптический импульс в определенный момент времени, причем импульсы с каждого ЛД сдвинуты во времени относительно друг друга. Акселерометр (А), входящий в ДП, необходим для обнаружения артефактов движения.

Блок обработки медицинской информации (БОМИ) (рис.6) датчиков пульс-оксиметрических (ДП) состоит из усилителя фотосигнала (УФС), двух источников тока прецизионных (ИТП), аналого-цифрового преобразователя (АЦП), синхронизирующего устройства (СУ), устройства обработки данных (УОД), оперативно-запоминающего устройства (ОЗУ), постоянного запоминающего устройства (ПЗУ), дисплея (Д).

## Выводы

Анализ современных методов графической регистрации контроля состояния организма человека показал, что для решения ряда медицинских задач наиболее приемлемым является использование связи терапевтических параметров с фотоплетизмограммой и дальнейшая оценка состояния пациента по проценту содержания

different, that's why triaxis accelerometer is taken for SPO.

Photoplethysmogram signal is registered with the help of laser SPO located on certain places of the body. SPO consists of two semiconductive laser diodes and one photodiode which records optical radiation from patient tissue – transmitted, reflected and diffused. Signal goes from photodiode to DPMP where photoplethysmogram becomes digital. From DPMP output digital signal goes to display D, where user can get information in convenient image.

Power supply PS is needed for DPMP and D supply (constant currency). Incoming voltage for PS is alternating current with voltage 220V and 50Hz frequency.

There are two laser diodes (LD), one photodiode (PhD), photosignal amplifier (APS) based on operational amplifiers, one accelerometer (A) in SPO composition.

Two LD and one PhD form two optical pairs. LD transmit optical impulse in certain moment, and impulses from these two LD are shifted in time. Accelerometer (A) is used for moving artifact detection.

Block processing of medical information (DPMP) of pulse oximeter sensor (SPO) (Pic. 6) consists of photosignal amplifier (APS), two current sources precision (CSP), analog-to-digital converter (ADC), synchronizing device (SD), data processing device (DPD), random-access memory (RAM), read-only memory (ROM), display (D).

## CONCLUSIONS

Analyses of modern methods of the human body state control graphic registration showed that



кислорода в крови и пульса. Метод фотоплетизмографии является базовым инструментом пульсоксиметрии и дал основу для её развития. Пульсоксиметрия является неинвазивным, простым в использовании, легко доступным, и достаточно точным методом измерения, предоставляющим информацию о насыщении кислородом крови, частоте сердечных сокращений и пульсе.

Несмотря на затруднения, были найдены пути решения поставленных медицинских проблем, в том числе основанные на выделении сигнала фотобиологического воздействия для дальнейшего принятия решения по физиотерапевтическому биодозиметрическому контролю (в том числе и для создания АРМ врача). На основе анализа различных конструкций пульсоксиметров была выбрана оптимальная для решения поставленных задач структура пульсоксиметра, и был выбран поверхностный датчик регистрации сигнала, работающий в обратно рассеянном свете, использующий три длины волны лазерного излучения (рабочие длины волн:  $\lambda=640$  нм,  $\lambda=940$  нм; опорная длина волны  $\lambda=805$  нм).

При создании пульсоксиметра ПСО-2КЛ были учтены актуальные проблемы, существующие в медицинской практике, которые рассмотрены в данной статье.

Примененная адекватная поставленным задачам метрологическая методика позволила создать оптический пульсоксиметр, по характеристикам не только не уступающим существующим современным пульсоксиметрам, но по ряду параметров даже превосходящим их.

Разработанный автором аппарат ПСО-2КЛ имеет улучшенные характеристики от других производимых пульсоксиметров и отличается следующими техническими решениями: в датчике пульсоксиметрическом (ДП), в качестве источника излучения применен лазерный диод. Применение лазерного диода в датчике позволило точно регистрировать пульсовое кровенаполнение локального участка кровеносного сосуда. Применённые новые технические решения, реализованные в ПСО-2КЛ, позволили избавиться от артефактов движения как от основной помехи при регистрации сигнала благодаря использованию в датчике трехосевого акселерометра. Снижен уровень засветки фотодиода ДП собственным излучением.

В ПСО-2КЛ для регистрирования сигналов от кровеносных периферических сосудов с низкой перфузией предусмотрена обработка кривой плетизмограммы с помощью контурного анализа с целью вычисления информативных диагности-

application of dependence between therapeutic parameters and photoplethysmogram and further conclusions based on blood oxygen level value is one of the most informative methods for medical tasks. Pulse oximetry is based on photoplethysmographical method, which let pulse oximetry to develop. Pulse oximetry is a noninvasive method of measurement, easy in use, available, rather high-precision, providing information about blood oxygen saturation, heart frequency and pulse.

In spite of some difficulties, new ways were found in order to solve some medical problems. These ways are based on signal detection as a response to photobiological effect, further activities with physiotreatment biodosimetric control (including transfer to AWP). After analyses of different types of pulse oximeters the optimal kind of the pulse oximeters was chosen as well as surface signal detector, working with back diffused light using three laser radiation wavelength (working-  $\lambda=640$  nm,  $\lambda=940$  nm; main -  $\lambda=805$  nm).

While working on PSO-2CL existing actual problems of medical practice were taken into account, we have told about them in this article.

Metrological methodic based on existing tasks allowed to provide optical pulse oximeter with characteristics better than in some of modern analogues.

The author's device PSO-2CL has characteristics better than in some of modern analogues and has new technical solutions: in pulse oximeter sensor SPO laser diode is used as a light source. Thanks to laser diode pulse blood supply of local part of vein can be exactly registered. Thanks to new technical solutions in PSO-2CL-triaxis accelerometer in detector- we can avoid from movement artifact as the main reason of disturbance. The photodiode light brightening SPO level is decreased.

In PSO-2CL there is a plethysmogram curve treatment with the help of contour analyses for the aim of registration of peripheral vessels signal especially for vessels with low perfusion. We can get such parameters as stiffness index, reflection index, augmentation index, vessel age index, pulse frequency.

Developed optical pulse oximeter PSO-2CL can be included into the doctor's automated workplace by data transfer to computer system for biodosimetric control purposes.

*Author is very thankful to the Technical Director of "Yarovit-Yar" Company A.P.Kuzmich and d.t.s. prof. A.I.Larushin for the help in testing of dual-channel optical pulse oximeter PSO-2CL.*



ческих показателей: индекс жёсткости, индекс отражения, индекс аугментации, индекс возраста сосудов, вычисленные из формы сигнала, а также частота пульса.

Разработанный оптический пульс-оксиметр ПСО-2КЛ возможно внедрить в систему автоматизированного рабочего места врача посредством передачи данных к основному компьютеру с целью осуществления биодозиметрического контроля совместно работающими лечебными или физиотерапевтическими аппаратами.

*Автор выражает благодарность за помощь в методике проведения испытаний оптического двухканального пульс-оксиметра ПСО-2КЛ техническому директору ООО "Яровит-Ярь" А.П.Кузьмичу и д.т.н. профессору А.И.Ларюшину.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. John G.Webster. Design of pulse oximetry. – CRC Press, 2002.
2. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Хизбуллин Р.Н., Новиков В.А., Мишанин Е.А. Температурный отклик электро-лазерного воздействия на организм. – Фотоника, 2009, № 6, с.28–30.  
Larjushin A.I., Galkin M.A., Hizbullin R.N., Novikov V.A., Mishanin E.A. Temperaturnyj otklik jelektrо-lazernogo vozdejstviya na organizm. – Fotonika, 2009, № 6, p.28–30.
3. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Хизбуллин Р.Н., Новиков В.А., Кузьмич А.П. Измерение температурной реакции органов человека на электро-лазерное воздействие. – Мир измерений, 2010, № 3, с. 21–25.  
Larjushin A.I., Galkin M.A., Hizbullin R.N., Novikov V.A., Kuz'mich A.P. Izmerenie temperaturnoj reakcii organov cheloveka na jelektrо-lazernoe vozdejstvie. – Mir izmerenij, 2010, № 3, p. 21–25.
4. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Мишанин Е.А., Кузьмич А.П., Новиков В.А., Хизбуллин Р.Н. Применение двухканального лазерного фотоплетизмографа в урологии. – Мир измерений, 2010, № 9, с.28–33.  
Larjushin A.I., Galkin M.A., Mishanin E.A., Kuz'mich A.P., Novikov V.A., Hizbullin R.N. rimenenie dvuhkanal'nogo lazernogo fotopletizmografa v urologii. – Mir izmerenij, 2010, № 9, p.28–33.
5. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Хизбуллин Р.Н., Новиков В.А. Двухканальный лазерный фотоплетизмограф. – Мир измерений, 2010, № 7, с.22–28.  
Larjushin A.I., Galkin M.A., Hizbullin R.N., Novikov V.A. Dvuhkanal'nyj lazernyj fotopletizmograf. – Mir izmerenij, 2010, № 7, p.22–28.
6. Ларюшин А.И., Галкин М.А., Хизбуллин Р.Н. Биоправляемая термодозиметрия электросветолазерных процедур. – Фотоника, 2010, № 5, с.28–31.  
Larjushin A.I., Galkin M.A., Hizbullin R.N. Biopravljajemaja termodozimetrija jelektrоsvetolazernih procedur. – Fotonika, 2010, № 5, p.28–31.
7. Хизбуллин Р.Н., Ларюшин А.И. Автоматизированный медицинский аппаратный комплекс для предсменного осмотра персонала энергетических предприятий. – Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики, 2014, № 1–2, с.125–133.  
Hizbullin R.N., Larjushin A.I. Avtomatizirovannyj medicinskij apparatnyj kompleks dlja predsmennogo osmotra personala jenergeticheskikh predpriyatij. – Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy jenergetiki, 2014, № 1–2, p.125–133.
8. Иржак Л.И. Гемоглобины и их свойства. – М.: Медицина, 1975.  
Irzhak L.I. Gemoglobiny i ih svojstva. – M.: Medicina, 1975.
9. Крепс Е. Оксигеметрия. – М.: Медицина, 1978.  
Kreps E. Oksigemetrija. – M.: Medicina, 1978.
10. <http://intermed.ua>. Пульс-оксиметрия: физические принципы и применение в медицине. Специальный практикум, каф. медицинской физики. – М.: МГУ им. М.В.Ломоносова, 2008 (дата обращения 19.01.2017).  
<http://intermed.ua>. Pul's-oksimitrija: fizicheskie principy i primenenie v medicine. Special'nyj praktikum, kaf. medicinskoj fiziki. – M: MGU im. M.V.Lomonosova, 2008 (data obrashhenija 19.01.2017).

## ЛАЗЕРНО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МЕДИЦИНЕ, БИОЛОГИИ, ГЕОЭКОЛОГИИ И ТРАНСПОРТЕ – 2017

4–9 сентября 2017 г. в Государственном морском университете им. адмирала Ф.Ф.Ушакова (Краснодарский край, Новороссийск, пр.Ленина, д.93) пройдет конференция "Лазерно-информационные технологии в медицине, биологии, геоэкологии и транспорте – 2017".

Поддержку научной конференции оказывают новороссийские предприятия ООО "НПФ "АВТЭК" и ЗАО "НЦЗ "Горный". Тематика конференции охватывает направления:

- лазеры в медицине, биологии, геоэкологии
- лазерные технологии на транспорте
- системы обработки и анализа изображений

и сигналов

- компьютерные технологии
- нанотехнологии
- геотехнологии
- техносферная безопасность
- геоэкологический мониторинг

Сопредседателями конференции выступают В.Н.Очкин (ФИАН, Москва), А.И.Рудской (СПбГПУ, С.-Петербург), С.И.Кондратьев (ГМУ, Новороссийск).

На конференции планируется работа выставки оптических приборов, включающей лазеры и сопутствующие изделия электроники и механики.



Регистрация участников и прием тезисов на сайте конференции открыты с 3 апреля 2017 года по 31 июля 2017 года на сайте: <http://www.abrauconf.avtec.ru/zayavka.php>

*В.Е.Привалов, д.ф. – м.н.*