

Методика оценки степени достоверности изображения пульсовой волны при экспресс-диагностике состояния человека

А.С. Гревцева¹, К. Я. Смирнов^{2,3}, В.В. Давыдов¹, К.В. Грешневилов¹,
М.И. Никитина¹, В.Ю. Рудь⁴

¹Высшая школа прикладной физики и космических технологий, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251

²АО "ЦНИИ "Электрон", Тореза 68, литер Р, Санкт-Петербург, Россия, 194223

³Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Большевилов 22, к. 1, Санкт-Петербург, Россия, 193232

⁴Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Институт 5а, пос. Большие Вяземы, Московская область, Россия, 143050

Аннотация. В статье рассмотрена проблема повышения достоверности результатов диагностики состояния человека пульсоксиметром. Предложена новая методика оценки достоверности результатов измерения параметров пульсовой волны и метод настройки оптической части пульсоксиметра. Разработанный нами метод и методика позволяют сделать несущественным влияние ряда погрешностей на результаты измерений. Представлены экспериментальные данные о исследованиях состояния различных людей.

1. Введение

Бесконтактные методы исследования состояния человека находят большое применение в клинической медицине, в спорте и различных сферах деятельности людей [1-5]. Особый интерес представляют исследования бесконтактными методами, в которых в качестве источника информации о состоянии здоровья человека используется кровь [6-9]. Многочисленные исследования крови показали, что в ней находится огромный объем информации. Если расшифровать этот объем, то можно получить данные о состоянии почти всех органов человека. Для получения решения этой задачи разработано большое число методов исследования. Наиболее информативные среди них оказалась магнито-резонансная томография [10-12]. Для магнито-резонансной томографии разработано большое количество способов расшифровки сигналов ядерного магнитного резонанса (ЯМР) от потоков крови в венах и сосудах. Полученные результаты на МР томографах совпадают с клиническими результатами анализа проб крови у этих же пациентов. К сожалению, в настоящее время разработать доступный для многих малогабаритный МР томограф не получается. К МР томографам, стоящим в лабораториях и медицинских центрах, доступ ограничен. Другой метод связанный с ЯМР – это ядерная магнитная релаксометрия текущего потока крови [13-16]. Как показали эксперименты ядерно-магнитный релаксометры сложны в эксплуатации и обладают

большим весом и размерами [13-15, 17, 18]. Кроме того, по измеренным значениям констант релаксации T_1 и T_2 можно получить только информацию о том соответствует ли кровь стандартному состоянию или нет. Люди обладают различными особенностями строения организма. Поэтому в большинстве случаев значения T_1 и T_2 крови людей значительно отличаются друг от друга [19-22]. Это приводит к дополнительной неопределенности в диагностике. Кроме того, использовать данные ЯМР методы для диагностики состояния человека в экспресс-режиме в различных условиях (например, дома, на работе, на отдыхе и т.д.) крайне сложно.

Поэтому было разработано большое число методов для контроля состояния человека в экспресс-режиме при различных условиях. Наиболее востребованной оказалась пульсоксиметрия. Проведенные исследования различными учеными показали, что наибольшими потенциальными возможностями обладает пульсоксиметрия с использованием лазерного излучения. Информацию о состоянии человека в этом случае получают с помощью бесконтактного исследования потока крови лазерным излучением в сосуде или вене. Регистрируется пульсовая волна с использованием сигналов поглощения или отражения. Большие потенциальные возможности крови показывает то, что на основе использования этих сигналов были разработаны методы по определению содержания сахара в крови и т.д. Лазерное излучение применяется при проведении исследований для решения большого числа задач [2-7, 20, 23-25], поэтому для их успешной реализации разработано большое количество различных моделей лазеров. Это автоматически исключает ряд проблем, которые возникают при реализации других методов.

Необходимо также отметить, что методы с использованием лазерного излучения малой мощности обладают простотой и безболезненностью процедуры измерения частоты сердечных сокращений, насыщение артериальной крови кислородом. Эти обстоятельства позволяют пульсоксиметру быть востребованным [26-28]. Сейчас в непосредственном применении остались только два способа диагностики: трансмиссионная и отраженная пульсоксиметрия. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки, которые определили области их наиболее рационального применения [26-28]. Например, контроль состояния пациента после операции - отраженная, определение реакции организма на предельные нагрузки в спорте - отраженная, контроль человеком своего самочувствия в процессе дня в различных условиях – трансмиссионная и т.д.

Несмотря на большое количество разработок и методов обработки полученной информации, которая содержится в пульсовой волне, при диагностике состояния человека возникают сложности. В большинстве случаев они связаны с появлением артефактов в регистрируемом изображении пульсовой волны. Эти артефакты при расшифровке изображения пульсовой волны трактуются по-разному.

Поэтому необходимо провести дополнительные исследования для установления общих закономерностей в определении степени достоверности изображения пульсовой волны, которые в настоящее время не сформулированы. Также необходимо внести дополнения и уточнения в методику использования трансмиссионной пульсоксиметрии для конкретных случаев экспресс-диагностики состояния человека.

2. Особенности формирования изображения в трансмиссионной пульсоксиметрии

В настоящее время наибольшее применение среди рядовых пользователей получила трансмиссионная пульсоксиметрия. Так как в большинстве случаев при личной диагностике своего состояния в различных условиях наиболее удобно пользоваться только одним датчиком для измерений. Кроме того, проведенные различными учеными эксперименты позволили установить, что при использовании для измерений одного или двух датчиков трансмиссионная пульсоксиметрия является намного точнее отраженной [26-28].

При диагностике с использованием трансмиссионной пульсоксиметрии лазерное излучение, проходя сквозь исследуемый участок ткани, поглощается неравномерно из-за наличия в нем сосудов. По разности амплитуд двух прошедших лучей вычисляется искомое значение

насыщения крови кислородом. В трансмиссионной пульсоксиметрии измерительные приборы (полупроводниковый лазер и фотоприемник) должны быть расположены строго напротив друг друга. Поэтому измерительный датчик, в котором они расположены, чаще всего размещается на мочке уха или пальцах руки человека. Это очень удобно для самостоятельного контроля своего состояния. Необходимо отметить, что именно личное использование, особенно в странах Западной Европы, США, Канады, Японии и Южной Кореи трансмиссионной пульсоксиметрии делает различные исследования в области трансмиссионной пульсоксиметрии по-прежнему актуальными, особенно, в области разработки методик оценки достоверности результатов измерений содержания кислорода в крови и частоты пульсовой волны, а также её формы, которая строится по регистрируемому изображению от рассеянного и поглощенного лазерного излучения на кровеносном сосуде и тканях. Лазерное излучение регистрируется с использованием фотодиодной линейки и приборов с зарядовой связью (ПЗС). При этом осуществляется автоматическая настройка системы сенсоров или фоточувствительных элементов ПЗС на максимум отношения сигнал/шум лазерного излучения, которое прошло через кровеносный сосуд. Расшифровка данного изображения позволяет осуществлять контроль состояния всего организма по работе сердца, как оно наполняет сосуды кровью.

Во время регистрации лазерного излучения возникают различные искажения (артефакты). Они изменяют форму пульсовой волны. На рис. 1 в качестве примера представлен вариант искажений в регистрируемой пульсовой волне при проведении измерений.

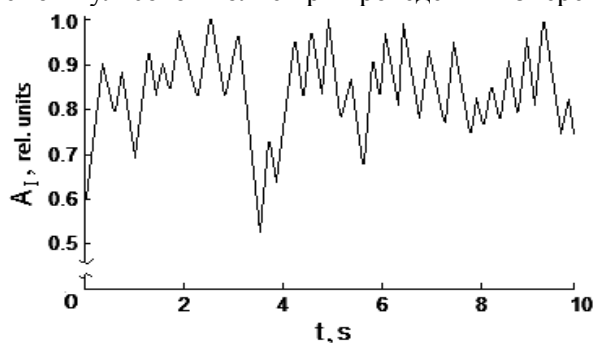


Рисунок 1. Форма пульсовой волны с артефактами.

При проведении измерений мы выбрали стандартное время усреднения пульса - 10 секунд. В этом случае период пульсовой волны составляет $110-115 \text{ мин}^{-1}$. Фронты, которые соответствуют классической работе сердца, в пульсовой волне не просматриваются. Заключение о состоянии здоровья человека будет крайне отрицательным.

В ряде случаев этот результат противоречит действительности (пациент хорошо себя чувствует, а измерения показывают состояние близкое, например, к инфаркту). В данной ситуации необходимо быстро установить достоверность полученных с помощью пульсоксиметра результатов измерений или наличие в них артефактов, которые вызвали искажения в форме пульсовой волны. Своевременное выявление артефактов при проведении диагностики состояния организма человека и устранение причин их появления является одной из актуальных задач современной пульсоксиметрии. Без использования методик, которые определяют достоверность изображения пульсовой волны диагностика состояния человека затруднена.

В данной работе нами предлагается одна из возможных методик для определения достоверности результатов измерения при проведении исследования состояния здоровья человека пульсоксиметром.

3. Методика оценки степени достоверности формы пульсовой волны, результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

Разработанные ранее методики по определению наличия артефактов и снижения их влияния на результат измерения в основном предлагают следующее. Выключить прибор, успокоиться,

переустановить датчики и провести измерения снова. В результате проведенных экспериментов было установлено, что в большинстве случаев появление артефактов связано с тем, что параметры датчика настроены на данные среднестатистического человека (исключение составляют датчики для детей). По одной из этих причин в датчике используется лазерное излучение в видимом диапазоне с $\lambda = 660 \pm 5$ нм. Пациенты с параметрами среднестатистического человека встречаются крайне редко. Особенно большой разброс параметров наблюдается по составу крови (по концентрациям в ней гемоглобина, лейкоцитов, эритроцитов и т.д.). Кроме того, часто люди страдают различными неопасными заболеваниями крови, например, по причине плохой экологии и т.д.

На рис. 2 представлены экспериментальные зависимости амплитуды пульсовой волны для различных длин волн лазерного излучения в красной области спектра полученные при диагностике состояния различных людей. Для проведения экспериментов использовался стандартный датчик пульсоксиметра, в котором размещались полупроводниковые лазерные диоды с различными длинами волн с мощностью излучения $P = 0.2$ мВт с плоским углом диаграммы направленности от 10 до 12 градусов. Все лазерные диоды были изготовлены на основе гетероструктур $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{P}$.

Полученные результаты показали, что для различных людей максимум амплитуды пульсовой волны смещается в область более низких длин волн красного диапазона лазерного излучения. В конструкции прибора заложена особенность автоматической настройки фотоприемника по сигналу поглощения лазерного излучения в крови, которая связана с выбором числа фоточувствительных сенсоров в фотоприемном устройстве для регистрации изображения. Поэтому пульсоксиметр может настроиться по спаду сигнала (например, график 4 при $\lambda = 666.2$ нм) в точке, где амплитуда меньше на 30 % чем в максимуме. Если у пациента сердце работает не очень хорошо или по специфике организма кровеносные сосуды тонкие и сигнал слабый, то амплитуда полезных сигналов может резко уменьшиться, и настройка пойдет по шумам, что приведет к появлению артефактов.

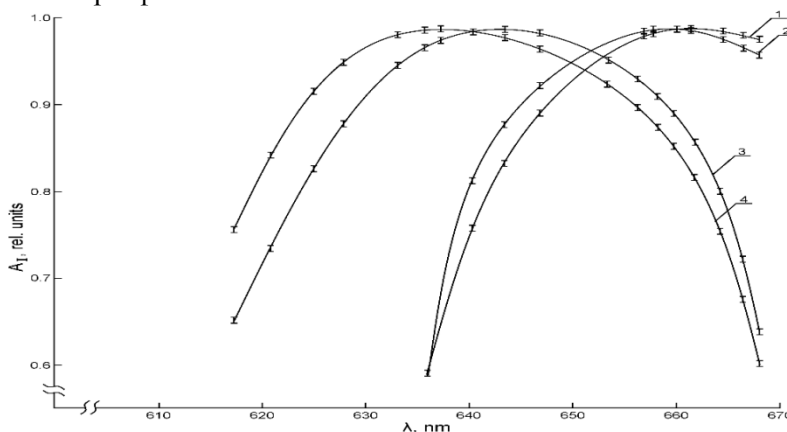


Рисунок 2. Зависимость отношения амплитуды A_1 регистрируемого сигнала пульсовой волны от различных длин волн λ лазерного излучения. Графикам 1, 2, 3 и 4 соответствуют пациенты различного пола и возраста: мужчина в возрасте 56 лет, женщина в возрасте 21 год, женщина в возрасте 47 лет, женщина в возрасте 54 года.

Анализ зависимостей, представленных на рис. 2, позволяет сделать следующий вывод. Для каждого человека наиболее целесообразным решением, позволяющим исключить появления ряда артефактов, будет при проведении исследований своего состояния использовать источник лазерного излучения с определенной λ . Нами было установлено, что критерием выбора λ может быть отношение сигнал/шум в регистрируемой пульсовой волне.

В ходе исследований нами была установлена еще одна причина появления артефактов, она связана с углом падения лазерного излучения на кровеносный сосуд или вену. На рис. 3 в

качестве примера представлена зависимость отношения амплитуды A_1 регистрируемого сигнала пульсовой волны от углов α и φ .

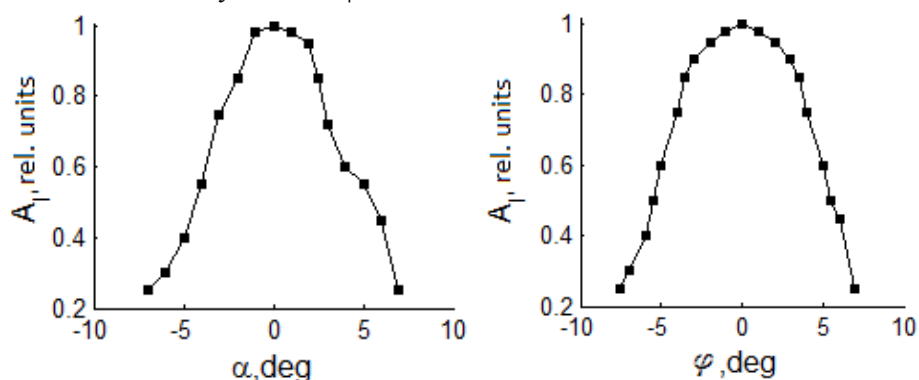


Рисунок 3. Зависимость A_1 от положения источника лазерного излучения относительно плоскости пальца, в которой размещен кровеносный сосуд: (а) – изменяется направление лазерного излучения в плоскости ZY, (б) - изменяется направление лазерного излучения в плоскости ZX.

Определим углы α и φ . Пусть кровеносный сосуд размещен в плоскости XY. Кровь по нему течет в направлении X. Угол α определяет отклонение направления распространения лазерного излучения от оси Z в плоскости ZY. Угол φ определяет отклонение направления распространения лазерного излучения от оси Z в плоскости ZX. Влиянием соседних кровеносных сосудов можно пренебречь из-за малой степени поглощения лазерного излучения. Анализ полученных результатов показывает необходимость обеспечить наличие оптимального положения датчика на пальце во время проведения исследований. Кроме того, было установлено, что для каждого человека это положение разное. Так как кровеносные сосуды у всех расположены по-разному (особенность строения организма). Если это не будет выполнено, то отношение сигнал/шум будет низким. Это может привести к появлению артефактов, как при настройке пульсоксиметра, так при проведении измерений.

Если при приобретении прибора не был подобран соответствующий датчик под конфигурацию пальца, необходимо сделать следующее. Разместить на другом пальце этой руки автономный датчик. Если их показания будут существенно различаться, провести ориентационную настройку датчика стационарного прибора на максимальное отношение сигнал/шум. При включенном стационарном приборе плавно изменять положение датчика на пальце и наблюдать на экране изменение амплитуды (пока её значение не будет максимальным). В этом случае все артефакты, которые определяются углами α и φ , станут несущественными. Сопоставить показания по пульсу и кислороду между двумя приборами. Если на фронтах пульсовой волны, которая регистрируется на стационарном приборе, присутствуют искажения, необходимо задержать дыхание. Проведенные нами эксперименты позволили установить, что при достоверных измерениях в случае задержки дыхания форма фронтов нарастания и спада пульсовой волны должна измениться (даже в случае неправильной работы сердца и т.д.). Содержание кислорода в крови и значения пульса должны на двух приборах измениться одинаково.

Если искажения вызваны артефактами, то изменения в структуре пульсовой волны будут несущественными (при задержке дыхания) на экране стационарного прибора. Кроме того, будут наблюдаться различия в изменении значений (пульса и кислорода) на двух приборах. В этом случае необходимо успокоиться и перенастроить стационарный прибор. В некоторых случаях необходимо уменьшить интенсивность излучения лазера, так как процессы насыщения вносят искажения в регистрируемую картину пульсовой волны. Последнее ранее не рассматривалось при определении достоверности результатов диагностики состояния здоровья человека.

На рис. 4-7 в качестве примера представлена форма пульсовой волны при исследовании людей различного возраста.

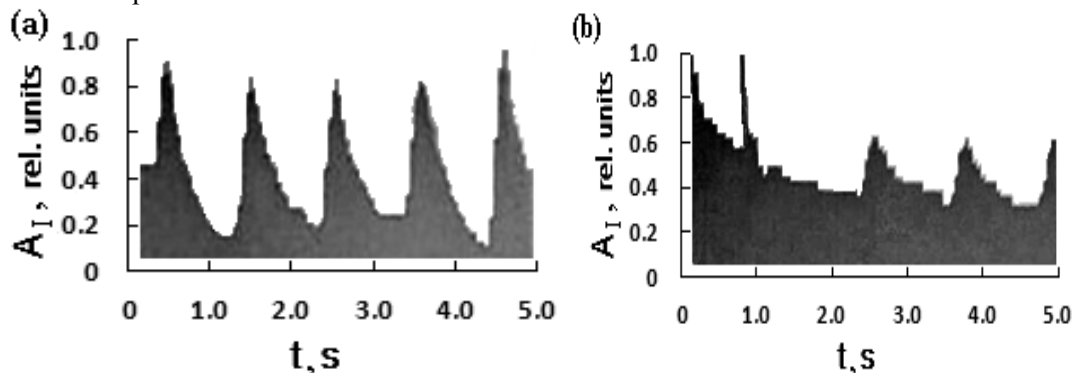


Рисунок 4. Форма пульсовой волны мужчины в возрасте 52 года: (а) влияние артефактов на регистрацию сигнала несущественно, (б) - наличие ошибок в измерениях.

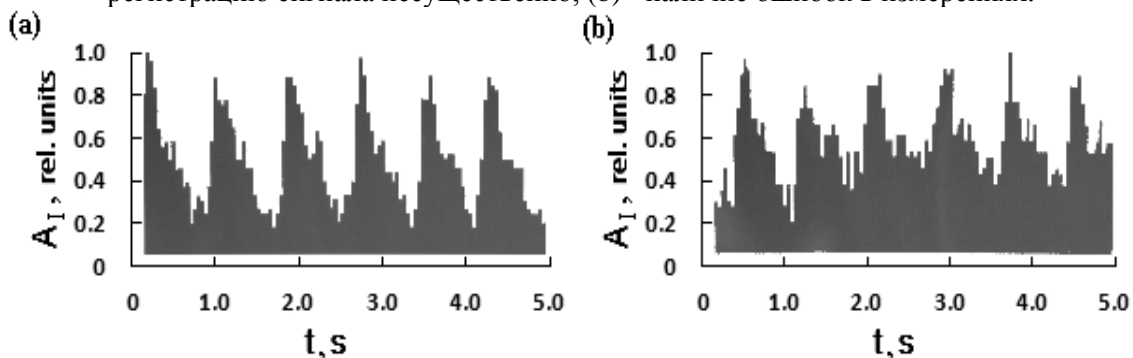


Рисунок 5. Форма пульсовой волны мужчины в возрасте 22 года: (а) влияние артефактов на регистрацию сигнала несущественно, (б) - наличие ошибок в измерениях.

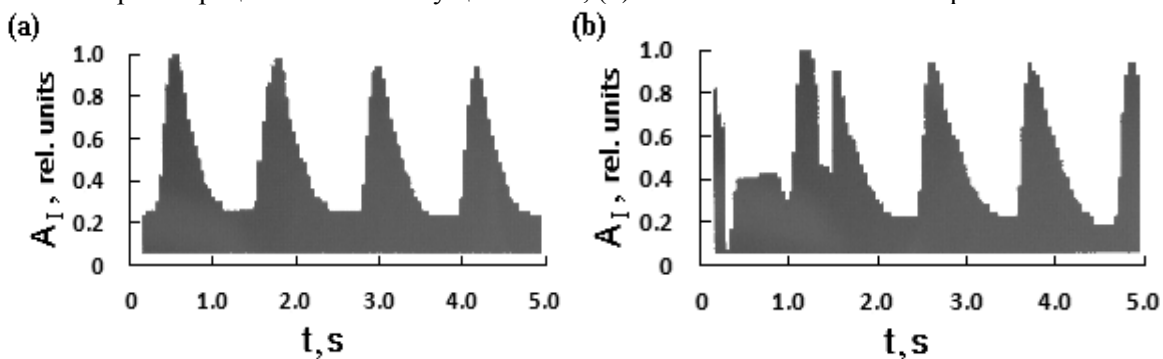


Рисунок 6. Форма пульсовой волны женщины в возрасте 52 года: (а) влияние артефактов на регистрацию сигнала несущественно, (б) - наличие ошибок в измерениях.

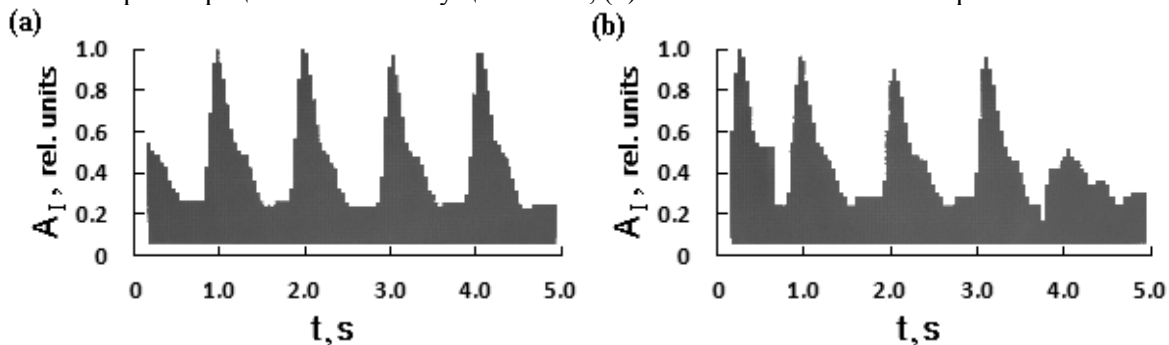


Рисунок 7. Форма пульсовой волны женщины в возрасте 23 года: (а) влияние артефактов на регистрацию сигнала несущественно, (б) - наличие ошибок в измерениях.

Результаты достоверных измерений, полученные на экране прибора, представлены на рис. 4-7 (а). На рис. 4-7 (б) представлены различные варианты сбоя в работе прибора или ухудшение самочувствия человека. Сбой в работе прибора (или ошибки в измерениях) легко можно квалифицировать как плохое состояние пациента. При личном контроле своего состояния этим прибором такой результат может вызвать у человека нервный срыв. После чего дальнейшие измерения проводить бессмысленно. Они будут отражать нервное состояние человека.

Использование разработанной нами методики позволяет определить и устранить ошибки, которые способствуют появлению артефактов в пульсовой волне. Представленные результаты на рис. 4-7 (а) это подтверждают. Влияние артефактов на результаты измерений стали несущественными.

Кроме того, полученные результаты показали, что в случае наличия паразитных импульсов на фронте спада и нарастания пульсоксиметр выдает усредненные значения пульса человека на основании измеренных интервалов между этими всплесками, что приводит к ошибкам. Некоторые модели допускают возможность увеличения периода усреднения данных. При этом некорректные измерения "разбавляются" истинными, и величина ошибки уменьшается. Но полностью ошибка не устраняется (снижается лишь ее величина). При этом появляется серьезный недостаток в работе прибора. Реакция прибора на внезапные события замедляется.

Полученный нами результат в отличие от ранее применяемых методик позволяет по регистрируемому искажению фронтов нарастания и спада структуре пульсовой волны определять различные отклонения в работе сердца или кровеносной системе человека с высокой степенью достоверности. Так как появление дополнительных пиков на фронтах пульсовой волны будет в данном случае уже связано только с какими-то изменениями в организме, которые необходимо диагностировать уже с использованием дополнительной аппаратуры [29-32]. Проведенные исследования с использованием другой аппаратуры случаев появления искажений (в форме пиков) на фронтах нарастания и спада в пульсовой волне подтвердили установленную нами возможность дополнительной диагностики работы сердца и кровеносной системы.

4. Заключение

Проведенные исследования на различных пациентах показали, что предложенная нами методика позволяет сделать влияние некоторых артефактов на результат измерения несущественным. Особенно в случае слабых и нестабильных сигналов, которые часто связаны с усталостью или недомоганием человека. В этих случаях особенно важно обеспечить прохождения большей части светового потока через плотный слой кожи человека до кровеносного сосуда, а потом до фотоприемника.

Кроме того, нами также было установлено, что неправильный выбор конфигурации датчика непосредственно влияет на результат измерения. Если он слишком сильно сдавливает палец руки или мочку уха, тем самым нарушая отток крови от тканей, пульсация артериального кровотока способна передаваться на вены. Пульсоксиметр не отличает пульсацию артерий от пульсации вен, и поэтому начинает включать в расчет абсорбцию света с венозной кровью, тем самым занижая результат. Данный вопрос подробно ранее не рассматривался.

Результаты исследований позволили установить еще одну особенность использования пульсоксиметра. При личном контроле своего состояния человеку следует применять пульсоксиметр только в том случае, если он ранее сам установил, какие значения измеренных параметров данным прибором соответствуют его «комфортному» состоянию. Это поможет избежать большого числа ошибок во время диагностики.

4. Литература

- [1] Даев, Ж.А. Метод измерения пульсирующего расхода жидкости / Ж.А. Даев // Измерительная техника. – 2016. – № 3. – С. 29-31.

- [2] Grebenikova, N.M. The universal optical method for condition control of flowing medium / N.M. Grebenikova, K.J. Smirnov, V.V. Artemiev, V.V. Davydov, S.V. Kruzhalov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018 – Vol. 1038(1). – P. 012089.
- [3] Давыдов В.В. Метод определения дефектов на внутренних стенках трубопровода по распределению скорости текущей жидкости / В.В. Давыдов, С.В. Кружалов, Н.М. Гребеникова, К.Я. Смирнов // *Измерительная техника*. – 2018 – № 4. – С. 33-39.
- [4] Карабегов, М.А. Метрологические характеристики рефрактометров полного внутреннего отражения / Карабегов М.А. // *Измерительная техника*. – 2004. – № 4. – С. 50-54.
- [5] Nepomnyashchaya, E.K. Spectroscopic techniques to study the immune response in human saliva / E.K. Nepomnyashchaya, E.A. Savchenko, E.N. Velichko, E.T. Bogomaz // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2018. – V. 956(1). – P. 012009.
- [6] Baranov, M.A. Methods of non-destructive testing in studies of self-organization processes in protein films / M.A. Baranov, E.N. Velichko, E.T. Aksenov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2017. – Vol. 917(1). – P. 062059.
- [7] Непомнящая, Э.К. Исследование альбумина методами лазерной корреляционной и диэлектрической спектроскопии / Э.К. Непомнящая, А.В. Черемискина, Е.Н. Величко, Е.Т. Аксенов, Т.А. Богомаз // *Оптический журнал*. – 2016. – Т. 83, № 5. – С. 50-54.
- [8] Жерновой, А.И. Исследование влияния оксигенации гемоглобина эритроцитов на сдвиг и ширину сигнала ^1H ЯМР воды в составе крови / А.И. Жерновой, Л.М. Шаршина // *Биофизика*. – 2003. – Т. 48, № 1. – С. 68-72.
- [9] Калугин, Р.А. Аналитические методы контроля многокомпонентных жидкостей / Р.А. Калугин, В.М. Золотарев, В.Е. Курочкин // *Научное приборостроение*. – 2003. – Т. 13, № 2. – С. 3-16.
- [10] Dalitz, F. Considerations on the design of flow cells in by-pass systems for process analytical applications and its influence on the flow profile using NMR and CFD / F. Dalitz, M. Maiwald, G. Guthausen // *Chemical Engineering Science*. – 2012. – Vol.75 – P.318-326.
- [11] Osan, T.M. Fast measurements of average flow velocity by Low-Field ^1H NMR / T.M. Osan, J.M. Olle, M. Carpinella, L.M.C. Cerioni, D.J. Pusiol, M. Appel, J. Freeman, I. Espejo // *Journal of Magnetic Resonance*. – 2011. – Vol. 209. – P.116-122.
- [12] Неронов, Ю.И. Формирование высокооднородного поля постоянного магнита МР-томографа // Ю.И. Неронов, В.С. Сизиков, Д.Ю. Соколов // *Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики*. – 2006. – № 32. – С. 129-137.
- [13] Давыдов, В.В. Малогабаритный меточный ядерно-магнитный расходомер для измерения быстроменяющихся расходов жидкости / В.В. Давыдов, В.И. Дудкин, А. Ю. Карсеев // *Измерительная техника*. – 2015. – № 3. – С. 48-51.
- [14] Vitkovskii, O.S. Development of a Standard System for Metrological Assurance of Measurements of the Pressure of Saturated Vapors of Petroleum and Petroleum Products / O.S. Vitkovskii, M.Y. Marusina // *Measurement Techniques*. – 2016. – Vol. 59(3) – P. 247-251.
- [15] Давыдов, В.В. Контур линии нутации для нестационарного режима работы ядерно-магнитных расходомеров-релаксометров / В.В. Давыдов, В.И. Дудкин, Н.С. Мязин // *Радиотехника и электроника*. – 2017. – Т. 61, № 10. – С. 1026-1032.
- [16] Давыдов, В.В. Многофункциональный малогабаритный ядерно-магнитный спектрометр / В.В. Давыдов, В.И. Дудкин, Н.С. Мязин // *Измерительная техника*. – 2017. – № 2. – С. 58-62.
- [17] Haner, R.L. Small volume flow probe for automated direct-injection NMR analysis: design and performance/ R.L. Haner, W. Llanos, L. Mueller // *Journal of Magnetic Resonance*. – 2000. – Vol. 143(1). – P.69-78.
- [18] Давыдов, В.В. Измерение магнитной восприимчивости и константы Кюри коллоидных растворов в феррофлюидных ячейках методом ядерного магнитного резонанса / В.В. Давыдов, Н.С. Мязин // *Измерительная техника*. – 2017. – № 5. – С. 55-59.

- [19] Zhernovoi A.I. Nuclear magnetic resonance in a flowing liquid / A.I. Zhernovoi, G.D. Latyshev. – New York: Consultants Bureau, 1965. – 286 p.
- [20] Nepomnyashchaya, E.K. Combination of laser correlation and dielectric spectroscopy in albumin investigations / E.K. Nepomnyashchaya, A.V. Cheremiskina, E.N. Velichko, E.T. Aksenov, E.T. Bogomaz // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2015. – Vol. 643(1). – P. 012018.
- [21] Давыдов, В.В. Особенности применения метода ядерно–магнитной спектроскопии для исследования потоков жидких сред / В.В. Давыдов, В.И. Дудкин, А.Ю. Карсеев, В.А. Вологдин // *ЖПС*. – 2015. – Т. 82, № 6. – С. 898-902.
- [22] Myazin, N.S. New method for determining concentrations of the mixture components during rapid control / N.S. Myazin, S.E. Logunov, V.V. Davydov, V.Yu. Rud', N.M. Grebenikova, V.V. Yushkova // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2017 – Vol. 929(1). – P. 012064.
- [23] Davydov, R.V. Simulation of femtosecond pulsed laser ablation of metals / R.V. Davydov, V.I. Antonov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2016. – Vol. 769(1). – P. 012060.
- [24] Davydov, R.V. Equation of state for computer simulation of metal ablation by femtosecond laser pulse / R.V. Davydov, V.I. Antonov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2017. – Vol. 929(1). – P. 012040.
- [25] Myazin, N.S. Spectral characteristics of InP photocathode with a surface grid electrode / N.S. Myazin, V.V. Davydov, S.E. Logunov, K.J. Smirnov // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2017 – V. 929(1). – P. 012080.
- [26] Yu, H. Successful use of pharyngeal pulse oximetry with the oropharyngeal airway in severely shocked patients. / H. Yu, B. Liu // *Anaesthesia*. – 2007. – Vol. 62. – P. 734-736.
- [27] Gople, R. Utility of home oximetry as a screening test for patients with moderate to severe symptoms of obstructive sleep apnea / R. Golpe, A. Jiménez, R. Carpizo, J. M. Cifrian. // *Sleep*. – 1999. – Vol. 22 – P. 932-937.
- [28] Hizbyllin, R. N. Dual-channel optical pulse oximeter on the base of laser sensors to solve actual problems in medical practice. / R.N. Hizbyllin // *Fotonika*. – 2017. – №1. – P. 144-157.
- [29] Неронов, Ю.И. Мини-томограф на основе ЯМР и некоторые возможности его использования для исследования живых тканей / Ю.И. Неронов, А.Н. Серегин // *Измерительная техника*. – 2011. – № 1. – С. 69-72.
- [30] Неронов, Ю.И. Разработка мини-томографа для учебных и научно-исследовательских целей / Ю.И. Неронов, А.Н. Серегин // *Научное приборостроение*. – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 105-112.
- [31] Davydov, V.V. On the sensitivity of running-fluid NMR magnetometer / V.V. Davydov, V.I. Dudkin, A.A. Petrov, N.S. Myazin // *Technical Physics Letters*. – 2016. – Т. 42, № 7. – С. 692-696.
- [32] Марусина, М.Я. Подавление шумов в задаче выделения контуров и сегментации томографических изображений / М.Я. Марусина, А.П. Волгарева, В.С. Сизиков // *Оптический журнал*. – 2015. – Т. 82, № 10. – С. 37-42.

Method of assessment the degree of reliability of the pulse wave image in the rapid diagnosis of the human condition

A.S. Grevtseva¹, K. J. Smirnov^{2,3}, V.V. Davydov¹, K.V. Greshnevikov¹, M.I. Nikitina¹, V.Yu. Rud⁴

¹Higher School of applied physics and space technologies, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Politehnicheskaya 29, Saint Petersburg, Russia, 195251

²OJSC “NRI “Electron”, Toreza 68 liter R, Saint Petersburg, Russia, 194223

³The Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, Bolshevikov 22, k. 1, Saint Petersburg, Russia, 193232

⁴All Russian Research Institute of Phytopathology, Institut 5a, Moscow Region, Bolshie Vyazemi, Russia, 143050

Abstract. This article describes the errors that occur in the diagnosis of human by pulse oximeter. The main causes of artifacts that distort the shape of the pulse wave are determined. Methods for their detection and elimination are proposed. Results of a research of people of different age are presented.