

09;14

Определение формы пульсовой волны по сигналу полупроводникового лазерного автодина

© Д.А. Усанов, А.В. Скрипаль, Е.О. Кащавцев

Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского
E-mail: usanovda@info.sgu.ru

Поступило в Редакцию 8 ноября 2012 г.

Показана возможность использования полупроводникового лазерного автодина для определения формы пульсовой волны лучевой артерии человека. Приведено сравнение форм пульсовых волн, полученных с помощью автодинной системы и измеренных осциллометрическим методом при разных давлениях в манжете.

Известно, что пульсовая волна, возникающая при прохождении крови по артериальным сосудам, несет информацию о состоянии сердечно-сосудистой системы. Одним из методов, позволяющих регистрировать форму пульсовой волны, является механографический метод — сфигмография [1,2]. При измерениях этим методом используется датчик, прикладываемый к поверхности кожи в области над артерией, движения которого регистрируются электрическим или оптическим методами.

Методом измерения формы пульсовой волны, также требующим механического контакта с пациентом, является осциллометрический метод [3]. Форма пульсовой волны регистрируется с помощью пневматического датчика давления, подключенного к окклюзионной манжете. При проведении измерений манжета накладывается на предплечье пациента и накачивается до необходимого давления. Сигнал пульсовой волны регистрируется под манжетой, что может вносить погрешность в результат измерений его формы.

Бесконтактными методами, позволяющими измерять форму пульсовой волны, являются гомодинные интерференционные методы [4,5]. Сложная техника измерений и недостаточная точность указанных методов затрудняют их применение для анализа состояния сердечно-сосудистой системы.

Для повышения точности измерения формы пульсовой волны можно применить метод, основанный на измерении доплеровского сигнала [6,7]. Авторы [6] сравнивают зависимость от времени изменения частоты доплеровского сигнала, измеренного при смещениях стенки лучевой артерии, с первой производной сигнала датчика кровяного давления, измеряемого на среднем пальце руки, которая также пропорциональна скорости смещения стенки лучевой артерии. Показано, что средний коэффициент корреляции зависимости изменения частоты доплеровского сигнала от времени и первой производной сигнала кровяного давления составляет 0.84. Авторы работы [7] по доплеровскому сигналу определяли зависимость изменения скорости смещения стенки лучевой артерии от времени прохождения пульсовой волны. При этом отмечалось, что в предложенном методе не удастся определить направление смещения поверхности кожи, что затрудняет восстановление формы пульсовой волны.

В работе нами решается задача по восстановлению формы движения отражателя, в качестве которого выступала поверхность кожи над артерией человека, с учетом определения направления смещения и с использованием полупроводникового лазерного автодина. Отметим, что перспективность использования полупроводникового лазерного автодина для целей определения параметров движений и вибраций биообъектов обсуждалась в работах [6–10].

Целью данной работы явилось исследование возможности восстановления формы пульсовой волны лучевой артерии в области запястья с использованием полупроводникового лазерного автодина.

Переменная нормированная составляющая автодинного сигнала при движении объекта может быть записана в виде [8]

$$P(t) = \cos \left(\theta + \frac{4\pi}{\lambda} f(t) \right), \quad (1)$$

где θ — стационарный набег фазы, λ — длина волны излучения лазера, $f(t)$ — функция продольных движений отражателя. В выражении (1) изменение аргумента косинуса на 2π , т.е. один период автодинного сигнала $P(t)$, соответствует изменению расстояния до отражателя на $\lambda/2$. Таким образом, $f(t)$ может быть восстановлена подсчетом количества периодов автодинного сигнала при фиксировании их временных координат.

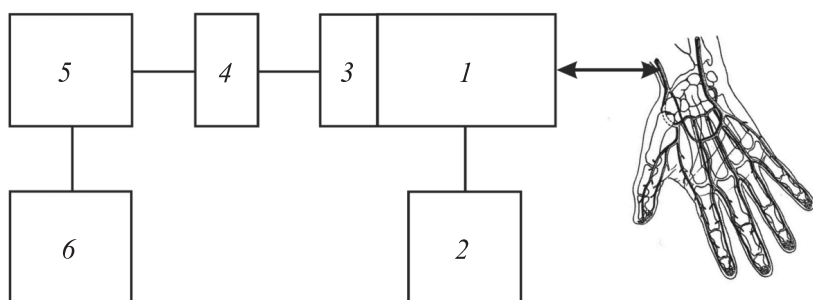


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки.

Были проведены эксперименты по определению формы пульсовой волны по сигналу полупроводникового лазерного автодина. Также были измерены формы пульсовых волн с помощью пневматического датчика давления, подключенного к манжете, при различных величинах давления в манжете.

Для исключения случайных движений во время измерений рука испытуемого фиксировалась на станине, на которой была жестко закреплена также автодинная систем. На рис. 1 приведена блок-схема экспериментальной установки. Излучение полупроводникового лазера 1, стабилизированного источником тока 2, направлялось на поверхность кожи в области запястья, где лучевая артерия расположена ближе к поверхности кожи. Для уменьшения рассеяния лазерного излучения кожей на ее поверхность наносился косметический препарат „Ruby Rose“. Часть излучения, отраженного от поверхности кожи, возвращалась в резонатор полупроводникового лазера, изменение выходной мощности которого регистрировалось встроенным в корпус лазера фотодетектором 3. Сигнал с фотодетектора поступал через усилитель 4 на аналого-цифровой преобразователь 5. Цифровой сигнал с АЦП для последующей обработки сохранялся в памяти ЭВМ 6.

При измерениях использовался лазерный диод типа RLD-650 на квантово-размерных InGaIP структурах с дифракционно-ограниченной одиночной пространственной модой с характеристиками: мощность излучения 5 mW, длина волны излучения 654 nm.

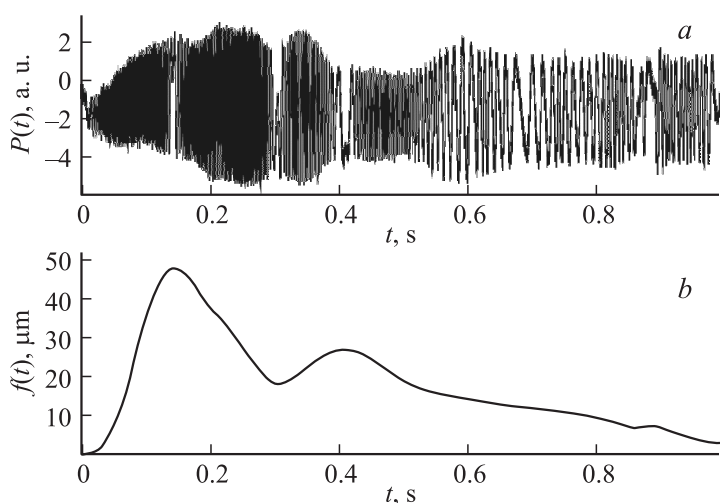


Рис. 2. Измеренный автодинный сигнал $P(t)$ — *a*, восстановленная из него функция движения $f(t)$ лучевой артерии в области запястья — *b*.

Автодинный сигнал регистрировался в течение времени, соответствующего нескольким кардиоциклам. На рис. 2, *a* представлен автодинный сигнал, соответствующий одному кардиоциклу.

Для восстановления функции движения стенки артерии при прохождении пульсовой волны определялись временные координаты всех максимумов автодинного сигнала. Временной интервал между двумя ближайшими максимумами автодинного сигнала соответствует прохождению объектом расстояния, равного половине длины волны излучения лазера, т.е. 327 нм. При работе автодинной системы в режиме слабой обратной связи [11] автодинный сигнал приобретает наклон, характеризующий направление движения отражателя [12]. Это позволило решить проблему определения направления движения стенки лучевой артерии при восстановлении функции движения. На рис. 2, *b* показана форма пульсовой волны, восстановленная из автодинного сигнала, изображенного на рис. 2, *a*.

На рис. 3 приведены примеры пульсовых волн испытуемых Д. и С., определенных по сигналу автодинной системы и измеренных с

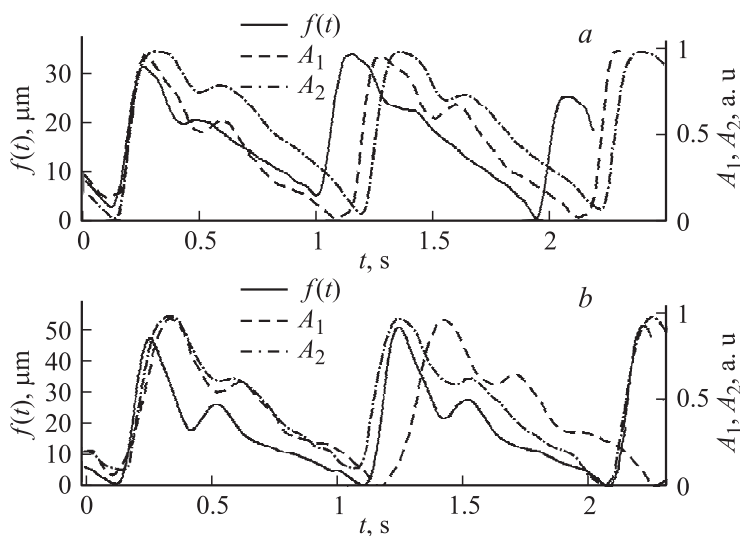


Рис. 3. Формы пульсовых волн: *a* — испытуемый Д., *b* — испытуемый С.; $f(t)$ — форма пульсовой волны, полученная с помощью автодиной системы; A_1 и A_2 — формы пульсовых волн, измеренные с помощью пневматического датчика при давлении 50 и 70 ммHg соответственно.

помощью пневматического датчика давления на установке, описанной в работе [13]. Испытуемый Д. — мужчина 26 лет, испытуемый С. — мужчина 28 лет. Форма пульсовой волны, восстановленная по автодиному сигналу, изображена сплошной линией.

Как следует из результатов, приведенных на рис. 3, форма пульсовых волн, измеренных разными методами, отличается. Отличие может быть объяснено тем, что лазерный автодинный метод является бесконтактным, тогда как метод, основанный на использовании пневматического датчика давления, — контактным, т.е. с ростом давления в манжете (с увеличением воздействия на пульсирующую артерию) форма пульсовой волны может искажаться. В частности, формы пульсовых волн, измеренные пневматическим датчиком при давлении 50 и 70 ммHg (рис. 3), имеют существенные отличия.

Таким образом, в работе описан метод восстановления формы пульсовой волны лучевой артерии по сигналу лазерного автодина с учетом

уровня внешней оптической обратной связи. Показано существенное отличие формы пульсовой волны, восстановленной по сигналу лазерного автодина и с использованием пневматического датчика давления, что обусловлено зависимостью формы пульсовой волны от давления в окклюзионной манжете и отличием в принципе измерения с помощью автодинной системы, позволяющей проводить бесконтактные измерения при отсутствии давления контактирующего датчика на измеряемую область.

Список литературы

- [1] *Валтнерис А.Д.* Сфигмография при гемодинамических измерениях в организме / Рижский мед. ин-т. Рига: Зинатне, 1976. 166 с.
- [2] *Явелов И.С., Рогоза А.Н.* // Функциональная диагностика. 2009. № 2. С. 82–86.
- [3] *Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Рытник А.П.* и др. // Саратовский научно-медицинский журнал. 2010. Т. 6. № 3. С. 615–619.
- [4] *Улуанов S.S., Ryabukho V.P., Tushin V.V.* // Opt. Eng. 1994. V. 33. N 3. P. 908–914.
- [5] *Аксёнов Е.Т., Мокрова Д.В., Кафидова Г.А.* // Биомедицинская радиоэлектроника. 2011. № 2. С. 60–64.
- [6] *Hast J., Myllyla R., Sorvoja H., Miettinen J.* // Quantum Electronic. 2002. V. 32. N 11. P. 975–980.
- [7] *Meiges K., Hiirikus H., Kattai R., Lass J.* // J. Biomedical Optics. 2003. V. 8. N 1. P. 152–160.
- [8] *Усанов Д.А., Скрипаль А.В.* // Квантовая электроника. 2011. Т. 41. № 1. С. 86–94.
- [9] *Усанов Д.А., Скрипаль А.В., Усанова Т.Б., Добдин С.Ю.* // Письма в ЖТФ. 2012. Т. 38. В. 3. С. 69–74.
- [10] *Усанов Д.А., Мареев О.В., Скрипаль А.В., Мареев Г.О.* // Российский журнал биомеханики. 2012. Т. 16. № 1 (55). С. 8–21.
- [11] *Giuliani G., Norgia M., Donati S., Bosh T.* // J. Opt. A: Pure Appl. Opt. 2002. V. 4. S283–S294.
- [12] *Donati S., Giuliani G., Merlo S.* Laser diode feedback interferometer for measurements of displacements without ambiguity // IEEE J. Quantum Electron. 1995. Vol. 31. N 1. P. 113–119.
- [13] *Усанов Д.А., Протопопов А.А., Скрипаль А.В., Аверьянов А.П.* и др. // Медицинская техника. 2012. № 2. С. 34–37.