

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

**Определение объемного кровотока в пальцах рук с помощью  
полупроводникового лазерного автодина**

**АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ**

студентки 4 курса 462 группы  
направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»  
факультета nano- и биомедицинских  
технологий  
Молдавановой Анастасии Павловны

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

\_\_\_\_\_  
(подпись, дата)

Научный руководитель:  
проф., д. ф. – м. н. Скрипаль Ан. В.

Зав. кафедрой мед. Физики  
проф., д. ф. – м. н. Скрипаль Ан. В.

Саратов 2017 г.

## ВВЕДЕНИЕ

К одному из актуальных направлений лазерной физики и биомеханики относится проблема взаимодействия излучающего полупроводникового лазера с отражателем, в качестве которого может выступить поверхность биообъекта.

Для измерения параметров движения объектов при микро и наносмещениях широкое распространение получили методы, основанные на использовании эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых лазерах на квантоворазмерных структурах. Полупроводниковым лазерным автодином – называется полупроводниковый лазер с внешней оптической обратной связью (ВООС), свойства которого определяются параметрами лазера и влиянием отраженного излучения. Автодинные измерительные системы, созданные на основе такого эффекта, по сравнению с интерференционными системами обладают такими улучшенными характеристиками, как малые габариты, вес, низкое энергопотребление.

Важным параметром при проведении измерений с использованием лазерной автодинной системы является пульсовая волна, с помощью которой можно диагностировать множество заболеваний. Представляет интерес исследовать пульсовую волну на пальцах рук человека. Существует ряд контактных методов исследования пульсовой волны. Мы же будем рассматривать бесконтактный метод, в чем его преимущество перед остальными методами.

Цель данной работы заключается в исследовании возможностей полупроводникового лазерного автодина для измерения пульсовой волны и объемного кровенаполнения в пальцах рук человека.

Кровеносная система человека, в самом общем виде, состоит из мышечного четырехкамерного насоса (сердца) и множества каналов (сосудов), функция которых заключается в доставке крови ко всем органам и тканям, а также последующему возврату ее к сердцу и легким. По главным составляющим этой системы ее называют также сердечно-сосудистой, или кардиоваскулярной.

Кровеносные сосуды – эластичные трубчатые образования, по которым осуществляется передвижение крови по организму: к органам и тканям. Приблизительно 84% общего объема крови сосредоточено в большом круге кровообращения и около 16% - в малом круге и сердце. Сосудистая система представлена в виде амортизирующих, резистивных, емкостных сосудов и капилляров.

Кровеносные сосуды разделяются на три основных вида: артерии, капилляры и вены. Артерии несут кровь от сердца. Они разветвляются на сосуды все меньшего диаметра, по которым кровь поступает во все части тела. Ближе к сердцу артерии имеют наибольший диаметр (приблизительно с большой палец руки человека), в конечностях они размером с карандаш. В самых отдаленных от сердца частях тела кровеносные сосуды настолько малы, что различимы лишь под микроскопом. Именно эти микроскопические сосуды, капилляры, снабжают клетки кислородом и питательными веществами. После их доставки кровь, нагруженная конечными продуктами обмена веществ и диоксидом углерода, направляется в сердце по сети сосудов, называемых венами, а из сердца – в легкие, где происходит газообмен, в результате которого кровь освобождается от груза диоксида углерода и насыщается кислородом. В процессе прохождения по телу и его органам какая-то часть жидкости через стенки капилляров проникает в ткани. Эта опалесцирующая, напоминающая плазму жидкость, называется лимфой. Возврат лимфы в общую систему кровообращения осуществляется по третьей системе каналов – лимфатическим путям.

Движение крови по сосудам происходит вследствие разности гидростатического давления в различных участках кровеносной системы (кровь движется из области высокого давления в область низкого). О кровообращении судят по минутному объему крови.

Максимальная часть общего объема крови сконцентрирована в венозном отделе (70 - 80%), в артериальном звене ее 15 - 20% и в обменных сосудах - не более 5 - 10%. По отношению к минутному объему крови (МОК) скелетные мышцы человеческого организма содержат 15 - 20% МОК; кости, костный мозг, жировая и соединительная ткань в сумме – 10 - 15% МОК; кожа – 3 - 6% МОК.

Во время одного сердечного сокращения происходит распространение крови по артериям. Кровь перемещается по артериям благодаря кинетической энергии из участка удаления кровяного объема к потенциальной энергии вытянутого участка сосудистой стенки. Последующие изменения происходят с давлением, течением, скоростью и конфигурацией. Эти изменения составляют физиологический феномен, известный как пульсовая волна, за которым легко наблюдать и измерять при анализе артериальной эластичности.

Пульс генерируется, когда сердце качает и распространяет кровь. Первый компонент колебательного сигнала цифрового объема пульса (ЦОП), т.е. систолический компонент, является результатом прямого распространения пульса от корня артерии к пальцу. Тем временем, пока пульс перемещается ниже по руке, прямой пульс прокачивается вдоль аорты в нижнюю часть корпуса. Это приводит к изменению диаметра артерии и бифуркациям, благодаря которым часть пульса отражается обратно. Кульминацией этих отражений является отражение в виде одной волны из нижней части корпуса, которая перемещается вверх по аорте и затем вниз к пальцу, образуя второй компонент ЦОП, т.е. диастолический компонент. Рука служит проводником и для волны прямой передачи, и для отраженной волны, таким образом оказывая незначительное влияние на контур ЦОП.

Конфигурация колебательного сигнала цифрового объема пульса находится в прямой зависимости от ригидности большой артерии и сосудистого тонуса. Поэтому характеристики колебательного сигнала цифрового объема пульса могут изменяться в зависимости от этих факторов.

Когда сердце сжимается, оно производит прямую волну, которая передвигается вниз к пальцу. Эта волна отражается в нижней части корпуса и тоже направляется к пальцу. Эта комбинация, прямой и отраженной волн, измеряется и записывается с помощью датчика на пальце.

Фотоплетизмография- это динамический метод измерения, который может ответить на вопрос, на сколько изменился тот или иной параметр периферического кровообращения, исходя из абстрактного нулевого уровня для того или иного человека. Фотоплетизмограф может быть применен как для количественного изучения различных параметров кровообращения в коже и слизистых оболочках тела человека, так и для количественной регистрации сосудистых рефлексов, как показателя состояния сосудодвигательных центров.

Метод фотоплетизмографии основан на том, что исследуемая ткань через специальный световод и светофильтры просвечивается монохроматическим светом, который после рассеивания или отражения попадает на фотоэлектропреобразователь, вызывая изменения фототока, регистрируемые гальванометром. Установлено, что интенсивность света, отраженного или рассеянного кожей, является функцией количества содержащейся в ней крови. Поскольку коэффициент поглощения инфракрасного света кровью значительно выше, чем тканью, фотоплетизмография регистрирует лишь изменения содержания крови. При этом рассеивание света происходит в основном за счет отражения от поверхности эритроцитов.

Как известно, 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. При измерениях этим методом используется датчик, прикладываемый к поверхности кожи в области над артерией, движения которого регистрируются электрическим или оптическим методами.

Осциллометрический метод является методом измерения формы пульсовой волны, также требующим механического контакта с пациентом. Форма пульсовой волны регистрируется с помощью пневматического датчика давления, подключенного к оклюзионной манжете. При проведении измерений манжета накладывается на предплечье пациента и накачивается до нужного давления. Сигнал пульсовой волны регистрируется при давлении под манжетой. Это может вносить погрешность в результат измерений его формы [19],[20].

Гомодинные интерференционные методы являются бесконтактными методами, позволяющими измерять форму пульсовой волны [21]. Сложная техника измерений и недостаточная точность указанных методов затрудняют их применение для анализа состояния сердечно-сосудистой системы.

Для измерения параметров движения объектов при микро и наносмещениях широкое распространение получили методы, основанные на использовании эффекта автодинного детектирования в полупроводниковых лазерах на квантоворазмерных структурах. Автодинные измерительные системы, которые созданы на основе такого эффекта, по сравнению с интерференционными системами обладают такими улучшенными характеристиками, как малые габариты, вес, низкое энергопотребление.

Значимым параметром при проведении измерений характеристик движений объекта с использованием лазерной автодинной системы является уровень внешней оптической обратной связи. В автодинной системе часть излучения возвращается в активную область резонатора, при этом режим, при котором автодинный сигнал аналогичен интерференционному, возможен при

уровнях обратной связи, имеющих некоторое строго определенное значение. Искажение автодинного сигнала происходит при увеличении уровня обратной связи. В отличие от случая, когда интерференция происходит в системе, отделенной от источника сигнала развязывающим элементом. Уровень внешней оптической обратной связи оказывает существенное влияние на форму автодинного сигнала полупроводникового лазерного излучателя и, как результат, на точность определения параметров движения отражателя в автодинных системах.

Полупроводниковый лазерный автодин может быть использован при изучении динамического состояния биологических объектов. С помощью лазерной автодинной системы были проведены исследования биений сердца дафнии, измерение параметров движений барабанной перепонки, измерение внутриглазного давления, измерение микросмещений лучевой артерии человека.

В настоящее время задача измерения формы пульсовой волны с помощью полупроводникового лазерного автодина остается актуальной. Известные контактные методы измерения формы пульсовой волны, такие как сфигмография, осциллометрический метод, могут вносить погрешность в результат измерений в силу контактного принципа измерения. Бесконтактными методами, позволяющими измерять форму пульсовой волны, являются гомодинные интерференционные методы. Сложная техника измерений и недостаточная точность указанных методов затрудняют их применение для анализа состояния сердечнососудистой системы

В связи с этим актуальной является задача по восстановлению формы движения отражателя, в качестве которого может выступать, в частности, поверхность ногтя пальца человека, с учетом определения направления смещения и с использованием полупроводникового лазерного автодина.

В работе нами решается задача по восстановлению формы движения отражателя, в качестве которого выступала поверхность кожи пальца руки

человека, с учетом определения направления смещения и с использованием полупроводникового лазерного автодина.

Переменная нормированная составляющая автодинного сигнала при движении объекта может быть записана в виде:

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

где  $\theta$  – стационарный набег фазы,  $\lambda$  - длина волны излучения лазера,  $f(t)$  - функция продольных движений отражателя. В выражение (1) изменение аргумента косинуса на  $2\pi$ , 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.

Были проведены эксперименты по определению формы пульсовой волны по сигналу полупроводникового лазерного автодина. Для исключения случайных движений во время измерений рука испытуемого фиксировалась на станине, на которой была жестко закреплена также автодинная система. На рисунке 9 приведена блок-схема экспериментальной установки. Излучение полупроводникового лазера 1, стабилизированного источником тока 2, направлялось на поверхность пальца. 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.

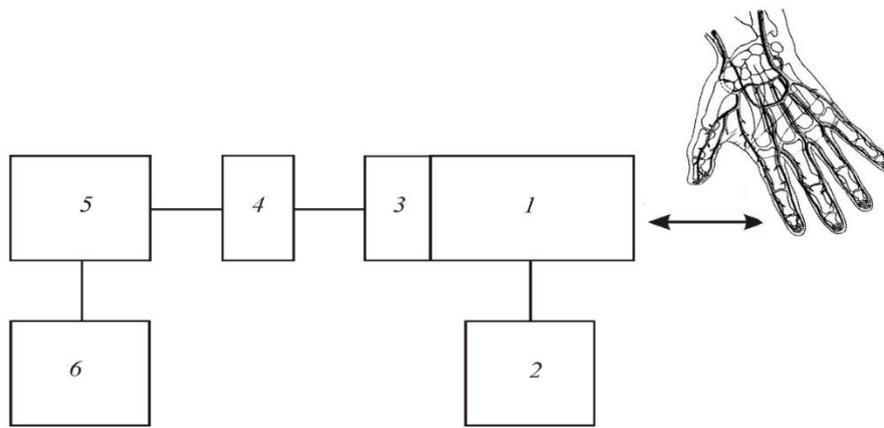


Рис.1 Блок-схема экспериментальной установки.

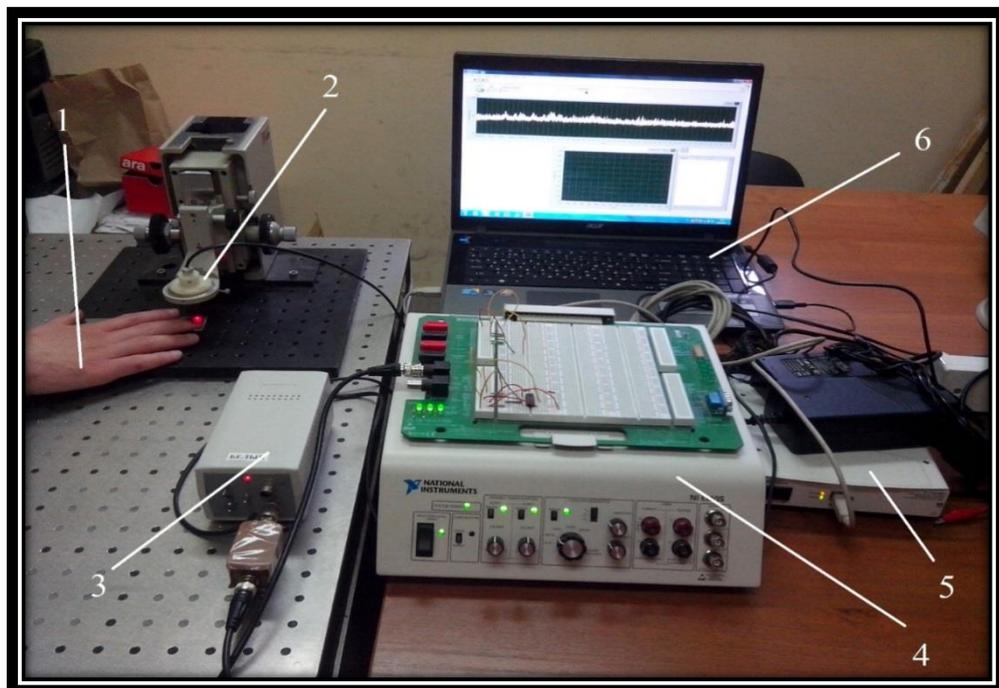


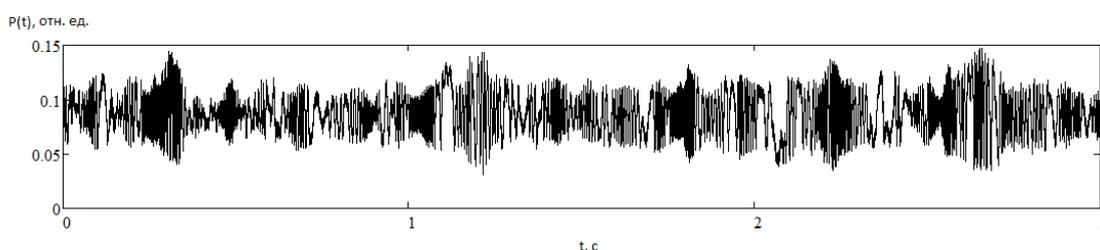
Рис. 2 Общий вид установки

На рисунке обозначено:

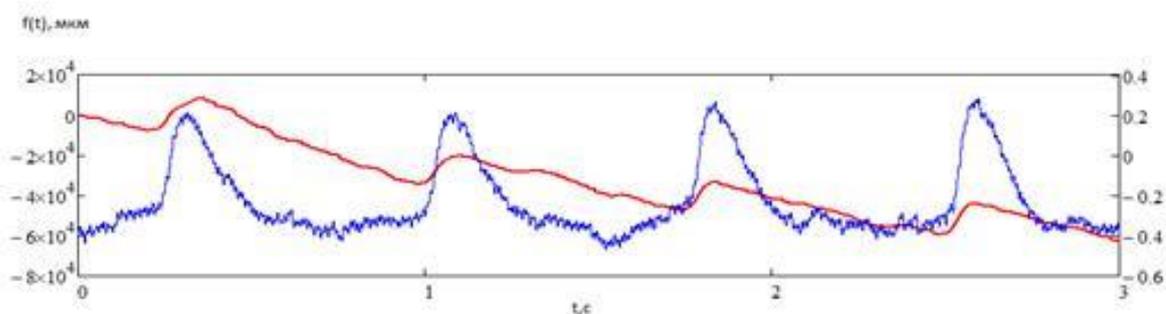
- 1-Рука испытуемого;
- 2-Полупроводниковый лазерный автодин;
- 3-Блок управления;
- 4-Аналого-цифровое устройство NI ELVIS;
- 5-Устройство DAQ;
- 6-ПК.

Автодинный сигнал регистрировался в течение времени, соответствующего нескольким кардиоциклам. На рисунке 3 а представлен автодинный сигнал, соответствующий четырем кардиоциклам.

Для восстановления функции движения 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 автодинный сигнал приобретает наклон, характеризующий направление движение отражателя [12]. На рисунке 3 а показана форма пульсовой волны, восстановленная из автодинного сигнала, изображенного на рисунке 3 б



а)



б)

Рис.3 Измеренный автодинный сигнал  $P(t)$  – а, и восстановленная из него функция движения  $f(t)$  в области пальца (красн.), показания с фотоплетизмографа(синий) – б.

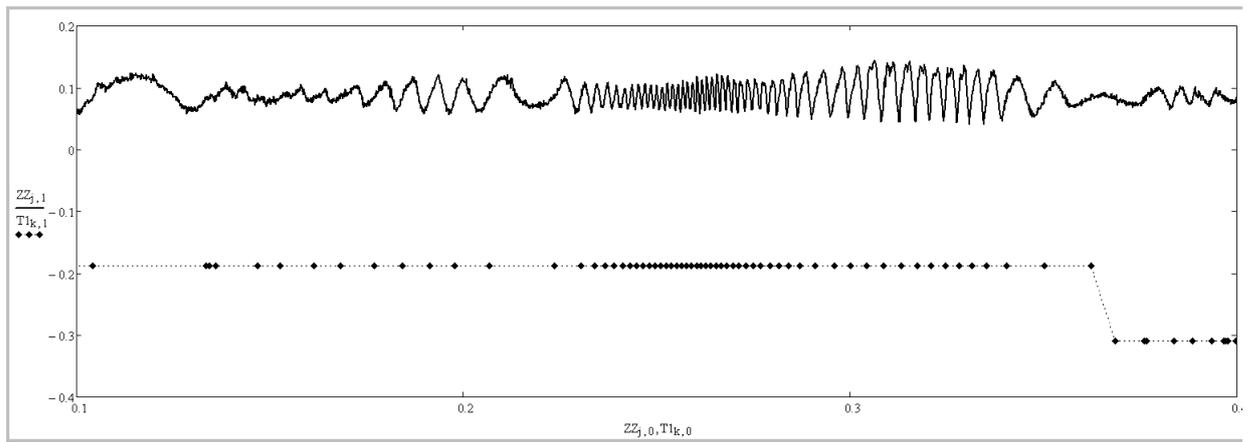


Рис.4 Часть автодинного сигнала в интервале с 0.1с по 0.4с

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе работы показаны возможности полупроводникового лазерного автодина для регистрации пульсовой волны и объемного кровонаполнения в пальцах рук человека. Описан метод восстановления формы движения объекта по автодинному сигналу полупроводникового лазера.

Проведено экспериментальное определение формы пульсовой волны и кровонаполнения пальцев рук человека используя фотоплетизмограф и полупроводниковый лазерный автодин. Из результатов эксперимента следует, что восстановленная форма движения ногтя пальца рук, обусловленная периодическим кровонаполнением, в течении нескольких кардиоциклов, соответствует контрольному сигналу с фотоплетизмографа, зарегистрированному синхронно с того же пальца руки.

Таким образом, продемонстрирована возможность бесконтактной регистрации формы пульсовой волны используя полупроводниковый лазерный автодин.