

для обеспечения теплового режима РЭС блоков кассетной конструкции позволяет регулировать температурный режим электронных компонентов на плате и достигать температур, необходимых по техническим условиям эксплуатации. Однако необходимо резервировать мощность источника электропитания для функционирования ТОО пропорционально мощности источников тепловыделений. Кроме того, важным моментом для функционирования ТОО является обеспечение эффективного отвода теплоты с горячих спаев используемых ТЭМ.

#### **Библиографический список:**

1. Роткоп Л.Л., Гидалевич В.Б., Гунн Л.А., Максименко В.Д. Оценка влияния тепловых режимов в РЭА на ее надежность. – "Вопросы радиоэлектроники. Сер. ТРТО", 1972, вып.1.
2. Исмаилов Т.А. Термоэлектрические полупроводниковые устройства и интенсификаторы теплопередачи. С-Пб.: Политехника, 2005.
3. Ненашев А.И. Конструирование радиоэлектронных средств. – М.: Высш.шк.,1990. -432с.
4. Патент № 2203523 РФ. Шкаф для охлаждения радиоэлектронной аппаратуры / Исмаилов Т.А., Цеханская Т.Э., Салманов Н.Р., Юсуфов Ш.А.//Б.И.№12, 2003.

**УДК 612.141+519.688**

*Кишов Р.М.*

### **УСТРОЙСТВО НЕПРЕРЫВНОГО НЕИНВАЗИВНОГО МОНИТОРИНГА АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ**

*Kishov R.M.*

### **NONINVASIVE CONTINUOUS BLOOD PRESSURE MONITORING DEVICE**

*В медицинской практике часто применяются так называемые суточные мониторы артериального давления (СМАД). Такой монитор позволяет врачу увидеть график изменения артериального давления в течение суток, в привычной для обследуемого среде и в типичном для него ритме жизни. Существующие и применяющиеся в медицинской практике системы СМАД предполагают проведение нескольких измерений осциллометрическим методом в течение десятка минут. Однако кардиоваскулярная система чрезвычайно гибка и способна реагировать на возбуждения очень быстро. При неудачном стечении обстоятельств у традиционных систем СМАД существует веро-*

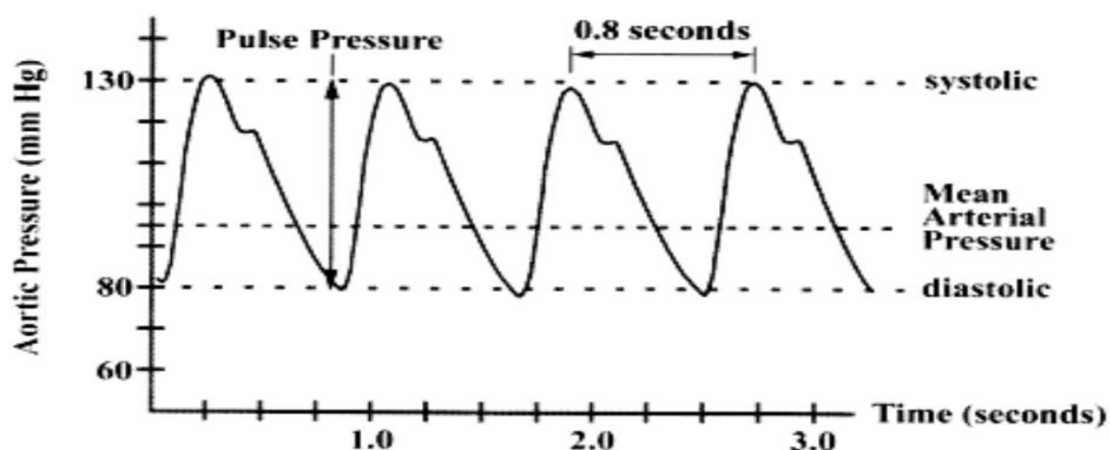
ятность не зарегистрировать такую реакцию. Этого недостатка лишен описываемый в статье прибор, предполагающий параллельное применение фотоплетизмографии и осциллометрического метода измерения артериального давления.

**Ключевые слова:** измерение артериального давления, осциллометрический метод измерения.

*In medical practice it is often used continuous blood pressure measurement system. This monitor allows the doctor to see a graph of changes in blood pressure during the day in a familiar environment and in a typical rhythm of life for him. Such system involves a few measurements using oscillometric measurement method for every ten minutes. However, the cardiovascular system is extremely flexible and able to respond to drive very excitation. When unfortunate circumstances conventional blood pressure measurement systems is likely not to register such a reaction. In this article discussed a device for continuous blood pressure measurement which concurrently use photoplethysmography and oscillometric method of blood pressure measurement.*

**Key words:** blood pressure measurement, oscillometric method.

Артериальным давлением называют давление, которое оказывает кровь на стенки артерии. Его принято измерять в мм.рт.ст относительно атмосферного. Поскольку давление в кровеносной системе человека нагнетается сердцем, которое периодически сокращается, артериальное давление не является постоянной величиной. В момент сокращения сердечной мышцы уровень давления максимален и его называют систолическим артериальным давлением (САД), в момент расслабления минимален – диастолическое артериальное давление (ДАД) (см. рис.1.). Кроме того, стремление организма поддерживать свой гомеостаз и чуткое реагирование на внешние раздражители и стресс приводят к колебаниям САД и ДАД во времени. Так, стрессовые ситуации и физические нагрузки провоцируют увеличение артериального давления. Причиной повышения артериального давления могут быть также различные заболевания, такие как: атеросклероз, артериальная гипертензия, воспаление почек, ожирение и многое другое.



**Рисунок 1** - Типовая диаграмма изменения артериального давления [2]

Стойкое повышенное кровяное давление подвергает организм различным рискам: повышает риск возникновения инфаркта миокарда, инсульта, развитием почечной или сердечной недостаточности. По официальным данным Всемирной организации здравоохранения около миллиарда людей страдают от высокого кровяного давления, и в год умирает более девяти миллионов человек от последствий этого заболевания [1].

Сегодня по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в экономически развитых странах доля взрослых людей, страдающих от повышенного артериального давления, достигает 25%. Только 5 % из них знают о своем заболевании, в свою очередь, 40 % из них получают соответствующее лечение и только у 10–20 % отмечается устойчивая нормализация артериального давления.

В США высокое артериальное давление является причиной смертности приблизительно 60 000 человек в год. Лица с повышенным артериальным давлением живут в среднем на 10 лет меньше, чем у люди, не страдающие гипертонической болезнью.

Методы измерения АД принято делить на две категории: инвазивные и неинвазивные. К неинвазивным относятся методы, основанные на аускультации артерии методом тонов Короткова и осциллографическом методе регистрации, в то время как инвазивные методы применяются при обследовании тяжелобольных в условиях стационара, так как предполагают осуществление измерения посредством введения датчика давления непосредственно в артерию. Наиболее широко распространен метод тонов Короткова, применяемый для ручного измерения АД с помощью сфигмоманометра. Для проведения автоматического измерения, как правило, применяется осциллометрический метод, основанный на анализе пульсаций давления, в основном благодаря большей помехоустойчивости по отношению к внешним шумам [4].

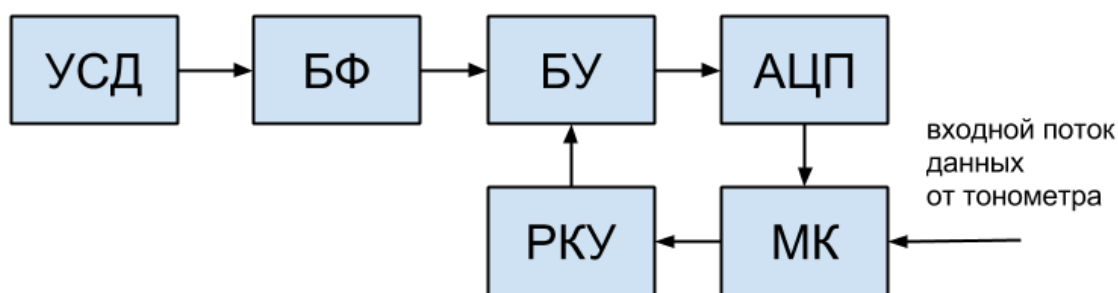
Для обследования пациентов врачи могут применять устройства с различными методами измерения, однако примерно в 10-20% случаев измерения оказываются завышенными из-за страха и волнения пациента во время процедуры измерения. Этот эффект называют «эффектом белого халата». Кроме того, поскольку АД может значительно меняться у человека в течение суток и, характер измерения может представлять для врача значительную ценность. С целью избежать проявления эффекта «белого халата» и получить картину измерения АД в течение длительного периода времени врачи устанавливают пациенту суточный монитор артериального давления. При этом и здесь не обходится без трудностей – СМАД измеряют АД в запрограммированные заранее промежутки времени. При этом частота измерения не может быть высокой, поскольку лежащий в основе метода измерения осциллометрический метод предполагает полное пережатие плечевой артерии до полного подавления пульсаций крови и это приводит к значительному дискомфорту обследуемого. Испытываемые неудобства сказываются на уровне кровяного давления, что вносит искажение в результаты измерений. В то же время, слишком

большие интервалы между измерениями могут привести к пропуску важной информации об уровне АД у обследуемого.

Предпринимаются различные попытки решить данную проблему. Например, в работах [6,7] описывается датчик кровяного давления, который встраивается в существующую платформу MEMSWEAR. Измерения АД проводятся с использованием фотоплетизмографии, и они частично непрерывные.

Авторы в [8] оценивают кровяное давление, опираясь на предположение, что есть соответствие между длительностью распространения пульсовой волны и кровяным давлением. Параметр, который используется для измерения – время распространения пульсовой волны.

Чтобы решить данную проблему предлагается прибор, объединяющий в себе медицинский тонометр, работающий на основе осциллометрического метода, со структурной схемой, представленной в работе [3], и фотоплетизмограф со структурной схемой, изображенной на рисунке 2.

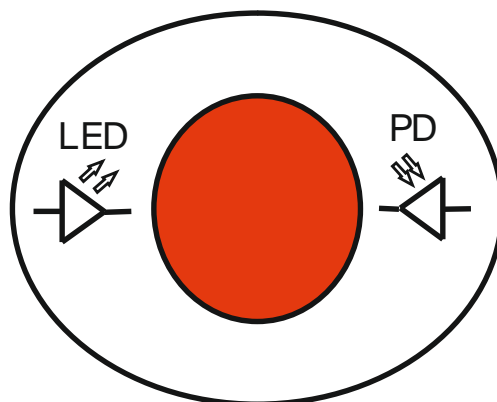


- УСД - устройство съема данных фотоплетизмографа
- БФ - блок фильтрации
- БУ - блок усиления
- АЦП - аналогово-цифровой преобразователь
- МК - микроконтроллер
- РКУ - регулировка коэффициента усиления

**Рисунок 2** - Структурная схема фотоплетизмографа

В основе фотоплетизмографа лежит датчик (на рисунке 2. устройство съема данных), устройство которого схематично изображено на рисунке 3. Здесь LED – светодиод, установленный с одной стороны пальца, PD (photo diod) – фотодиод, установленный на противоположной стороне. Светодиод излучает свет, пропускаемый через палец. Свет частично поглощается кровью, мускулами, кожей, костью и попадает на фоточувствительный элемент. С изменением объема крови в пальце изменяется и интенсивность света проходящего через палец. Увеличение давления приводит к увеличению объема крови в пальце и, соответственно, уменьшает поток света, проходящий через палец. Таким образом, сопротивление фотодиода можно считать обратно пропорциональным уровню кровяного давления человека. Можно также

утверждать, что в момент, когда сопротивление фотодиода максимально, кардиоваскулярная система человека находится в фазе систолы, а в момент, когда минимальна, находится в фазе диастолы. Однако сама по себе интенсивность света, проходящего через палец, не позволяет однозначно оценить уровни САД и ДАД поскольку является очень индивидуальным показателем, зависящим от анатомических особенностей организма человека, и может значительно меняться в течение дня.



**Рисунок 3** - Иллюстрация фотоплетизмографии на пальце

Слабый сигнал, снимаемый с фотодиода, имеет постоянную составляющую, от которой можно избавиться с помощью блока фильтрации. После чего, сигнал усиливается по амплитуде с помощью блока усиления. Как правило, эта схема реализуется с помощью операционных усилителей. Поскольку амплитуда сигнала отличается от человека к человеку, необходимо гибко подбирать коэффициент усиления так, чтобы эффективно использовать динамический диапазон АЦП на следующем этапе. Данный функционал реализуется с помощью блока с регулировкой коэффициента усиления управляемого микроконтроллером. Кроме данной функции на микроконтроллер также возложена задача расчета САД, ДАД и функция управления процедурой измерения.

Определение уровня САД и ДАД происходит по разработанному алгоритму, изображенному на рис.4. следующим образом. При первом запуске микроконтроллер устанавливает систему в исходное состояние, отрегулировав коэффициент усиления усилителя, после этого производит обычную процедуру измерения АД [3], параллельно фиксируются и сохраняются в оперативную память амплитуды сигнала фотоплетизмограммы соответствующие различным уровням давления в манжете. Данные хранятся в виде двумерного массива, где каждому уровню давления в манжете с шагом 3-5 мм.рт.ст. соответствует своя амплитуда сигнала фотоплетизмограммы. Таким образом проходит калибровка устройства.

Затем, выявленные зависимости позволяют определить соответствия между уровнем текущего давления и текущей фазой сигнала фотоплетизмограммы. Моменты, когда следует посчитать САД определяются логическим

условием предыдущее измерение  $x_1$  меньше текущего  $x_2$  и больше следующего  $x_3$ , т.е.  $((x_2 > x_1) \& (x_2 < x_3))$ , где  $x_1, x_2, x_3$  – последовательные выборки АЦП. Фаза фотоплетизмограммы, когда следует определить ДАД определяется выполнением условия:  $((x_2 < x_1) \& (x_2 < x_3))$ .

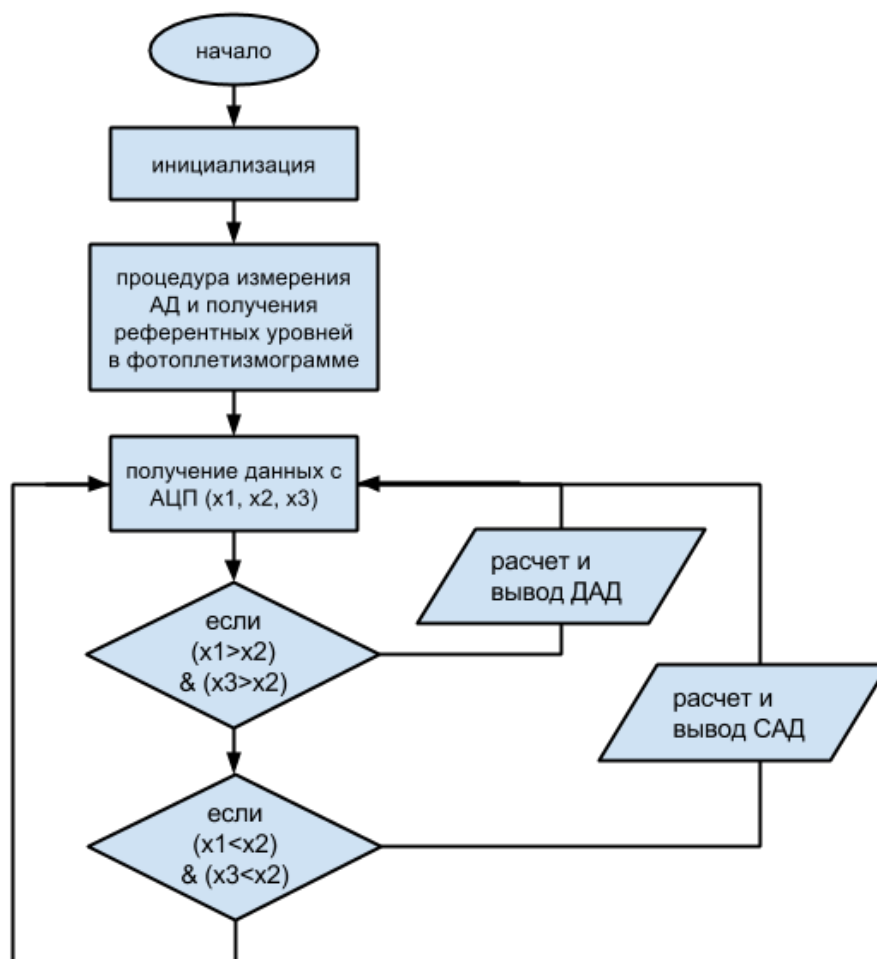


Рисунок 4 - Алгоритм работы устройства

Показания устройства, определенные у трех человек после калибровки были сравнены с показаниями, получаемым с применением сфигмоманометра с помощью метода тонов Короткова и приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Показания, полученные с помощью метода тонов Короткова и описываемого в статье устройства

Обследуемый	Показания разработанной системы		Метод тонов Короткова	
	САД	ДАД	САД	ДАД
1	123	81	120	79
2	133	85	138	88
3	120	78	125	80

**Вывод.** Полученные показания позволяют утверждать, что показания соответствуют стандартам BHS [5], а устройство может быть применено в медицинской практике.

Тот факт, что объем кровенаполнения пальцев для каждого пользователя значение индивидуальное и способное меняться с течением времени приводит к необходимости индивидуальной калибровки усилителя для каждого пользователя. Кроме того, данный метод предполагает для достижения эффективного непрерывного мониторинга одновременное постоянное применение фотоплетизмографии и периодическое применение осциллометрического метода измерения АД, что является ограничением разработанной системы.

Тем не менее, применение системы и описанного алгоритма позволяет осуществлять непрерывный и неинвазивный мониторинг АД в течение длительного периода времени с достаточно высокой точностью, значительно уменьшив при этом дискомфорт пользователя, связанный с пережатием артерии при применении осциллометрического метода.

#### **Библиографический список:**

1. Всемирный день здоровья: Сократите риск инфаркта и инсульта — следите за своим кровяным давлением [Электронный ресурс] // Центр СМИ ВОЗ - 03.04.2013г. —URL [http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/world\\_health\\_day\\_20130403/ru/index.html](http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2013/world_health_day_20130403/ru/index.html)
2. K. Vynum, “Experimental laboratory physiology BIOPAC Lab exercise manual”, lesson16, lesson 17.
3. Кишов, Р.М. Автоматический медицинский тонометр с применением алгоритмов цифровой фильтрации. Вестник Дагестанского государственного технического университета. - 2013. - №31. С.13-20.
4. Акинин, В.В. Исследование и разработка способов измерения и мониторинга артериального давления: дис. ... канд. тех. наук. Пензенский Государственный университет, Пенза, 2006г.
5. Современные неинвазивные методы измерения артериального давления для диагностики артериальной гипертензии и оценки эффективности антигипертензивной терапии / А.Н. Рогоза [и др.]. - М. : Медика, 2007.
6. C. K. Wei, “Photoplethysmography blood pressure measurement”, M. Sc. Engg. Thesis, Department of Mechanical Engineering, National University of Singapore, 2009.
7. X. F. Teng and Y. T. Zhang, “Continuous and Noninvasive Estimation of Arterial Blood pressure using a photoplethysmographic Approach”, Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE EMBS, vol. 4, pp. 3153-3156, Cancun Mexico, September, 2003
8. G. Lopez, H. Ushida, K. Hidaka, M. shuzo, I. Yamada, “Continuous Blood pressure measurement in daily activities”, The University of Tokyo, IEEE SENSOR 2009 conference.