

**ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ
С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ НА ОСНОВЕ
ГИДРОМАНЖЕТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

М. С. Геращенко

**A DEVICE FOR DETERMINING BLOOD PRESSURE WITH HIGH
ACCURACY ON THE BASIS OF HYDROMANTES TECHNOLOGY**

M. S. Gerashchenko

Аннотация. *Актуальность и цели.* При лечении артериальной гипертензии пациенты должны постоянно, в течение дня, контролировать свое давление. Установлено, что длительное отклонение от нормы и неконтролируемое увеличение давления являются основными причинами возникновения инфаркта либо инсульта. Осуществлять контроль давления можно различными методами. Объемная компрессионная осциллометрия является наиболее распространенным неинвазивным методом измерения артериального давления. На основе этого метода реализуется до 80 % бытовых тонометров. Их популярность вызвана удобством эксплуатации приборов и возможностью применения в бытовых условиях лицами различных возрастных категорий с ослабленным слухом, зрением, замедленной реакцией. На практике данный метод часто дает сомнительные оценки систолического и диастолического давления с существенной погрешностью, достигающей 20–50 мм рт. ст. Неточные измерения давления, с принятием мер на основе полученных значений, могут спровоцировать усугубление проблем со здоровьем и привести к катастрофическим последствиям. Точная оценка систолического и диастолического давления в бытовых условиях остается открытой проблемой в биомедицинской инженерии. Цель настоящей работы заключается в повышении точности оценки систолического и диастолического давления, характеризующего сердечно-сосудистую систему человека, в тонометрах, приборах и системах автоматического наблюдения. *Материалы и методы.* Поставленная цель достигается за счет разработки нового гидроманжетного метода формирования осцилляций и создания алгоритмического программного обеспечения для его реализации. *Результаты.* Разработана методика проведения гидроманжетных исследований для оценки значений артериального давления. Выполнены экспериментальные исследования взаимосвязи между амплитудами осцилляций и значениями систолического и диастолического артериального давления. Впервые предложена и запатентована гидроманжетная технология определения артериального давления. Изготовлены виртуальный прибор в среде графического программирования LabVIEW и макет опытного образца для оценки артериального давления. *Выводы.* Предлагаемое техническое решение создает предпосылки для реализации простого в обращении тонометра, обладающего повышенной точностью с погрешностью до 1 %. Применение гидроманжетной технологии дает возможность фиксировать давления, соответствующие началу и окончанию формирования осцилляций, что соответствует методике, основанной на прослушивании тонов Короткова.

Ключевые слова: артериальное давление, погрешность оценки давления, осциллометрия, гидроманжетная технология.

Abstract. *Background.* In the treatment of hypertension, patients must constantly, during the day, to control their blood pressure. It is established that long-term deviation from the norm and uncontrolled increase in pressure are the main causes of heart attack or stroke. Pressure monitoring can be carried out by various methods. Volumetric compres-

sion oscillometry is the most common non-invasive method of measuring blood pressure. On the basis of this method, up to 80 % of household tonometers are realized. Their popularity is caused by convenience of operation of devices and possibility of application in household conditions by persons of various age categories. In practice, this method often gives questionable estimates of systolic and diastolic pressure with a significant error reaching 20–50 mm Hg.V.. Inaccurate pressure measurements, with measures based on the values obtained, can cause health problems to increase and lead to disastrous consequences. Accurate assessment of systolic and diastolic pressure in the domestic environment remains an open problem in biomedical engineering. The purpose of this work is to improve the accuracy of the assessment of systolic and diastolic pressure, characterizing the cardiovascular system of a person in tonometers, devices and automatic observation systems. Materials and methods. This goal is achieved through the development of a new hydro-banking method of forming oscillations and the creation of algorithmic software to implement it. Results. The methodology hydromagnetic studies to assess blood pressure values. Experimental studies of the relationship between the oscillation amplitudes and the values of systolic and diastolic blood pressure were performed. First proposed and patented hydro-technology for determining blood pressure. A virtual device in the LabVIEW graphical programming environment and a prototype model for blood pressure assessment were made. Summary. The proposed technical solution creates the prerequisites for the implementation of an easy-to-use tonometer, which has an increased accuracy with an error of up to 1 %. Application gidroperitny technology makes it possible to record the pressure corresponding to the beginning and end of the formation of oscillations that corresponds to the method based on listening to the sounds of Korotkoff.

Key words: blood pressure, pressure estimation error, oscillometry, hydro-banking technology.

Введение

Систолическое и диастолическое давления являются одними из важнейших медицинских показателей, характеризующих состояние сердца и сосудов. Особую важность эти показатели имеют для лиц, страдающих различными формами гипертензии. Для лиц данной категории рекомендуется постоянное наблюдение параметров в течение дня. Установлено, что длительное отклонение от нормы и неконтролируемое увеличение давления являются важными факторами риска возникновения инфаркта либо инсульта.

Задачу оценки артериального давления (АД) в быту решают несколько видов тонометров. В основном это механические тонометры, основанные на методе Н. С. Короткова, и приборы осцилляторного типа.

Метод Н. С. Короткова официально признан эталоном неинвазивных методов оценки АД. Его до настоящего времени используют в референтных методах аттестации и сертификации измерителей АД. Погрешность метода, с учетом строгого выполнения методики измерений, лежит в пределах 7–8 %. На результат измерений существенное влияние могут оказывать случайные погрешности, связанные с неравномерностью частоты сердцебиения, анатомическим ослаблением кровотока, замедленной реакцией считывания показаний манометра, нарушением остроты слуха, отсутствием опыта и низкой квалификацией пользователя. Существенную роль играет выбранная скорость декомпрессии, расположение фонендоскопа, характеристики манжеты, влияние движений, вибраций, шумов и т.д. В целом суммарная составляющая этих погрешностей может достигать 10–15 %.

Приборы на основе объемной компрессионной осциллометрии являются наиболее распространенными при домашнем измерении артериального

давления. Их популярность вызвана удобством эксплуатации приборов и возможностью применения в бытовых условиях лицами различных возрастных категорий, с ослабленным слухом, зрением, замедленной реакцией. Погрешность приборов на основе объемной компрессионной осциллометрии по различным оценкам составляет 25–30 %.

Высокая точность определения АД требуется при оценке эффективности реализуемой методики лечения. Критерием эффективности оптимального набора, дозировки, графика приема препаратов выступает динамика изменения систолического и диастолического давления в процессе лечения. Более жесткие требования по точности следует применять в случаях гипертонического криза, когда необходима динамика равномерного снижения давления на 10–20 % на протяжении суток, т.е. примерно 1–2 мм рт. ст. % в час.

Приведенные значения погрешностей используемых в настоящее время тонометров показывают, что существующие методы оценки АД не способны обеспечивать точность, необходимую для качественной оценки давления, эффективности проводимой терапии и рационального выбора видов и дозировки применяемых препаратов, контроля динамики изменения параметров при гипертонических кризах. Перечисленные особенности практически исключают возможность проведения существующими тонометрами активного контроля давления в быту лицами пожилого возраста, со слабым зрением, с замедленной реакцией, физически ослабленных и т.д. При свойственных данным методам погрешностях их информационная значимость существенно снижается. Врачи в своей практике, принимая во внимание значения измеренного давления, при принятии соответствующих решений и постановке диагноза руководствуются прежде всего оценкой состояния пациента, наличием или отсутствием определенных симптомов, результатов анализов и назначаемых исследований.

Реализация гидроманжетной методики оценки давления

Недостатком существующих приборов, реализующих метод объемной компрессионной осциллометрии с использованием воздушной манжеты, является малая амплитуда осцилляций, формируемых в процессе изменения давления в окклюзионной манжете. Для стандартной плечевой манжеты амплитуда осцилляций при давлении 100 мм рт. ст. составляет 1–2 мм рт. ст. В этом случае чувствительность метода, на основе анализа формы осцилляций, незначительна. Шумы и артефакты движения затрудняют процесс обработки осцилляций, поскольку оказывают существенное влияние на контур осцилляций и форму огибающей.

В этой связи предлагается методика существенного повышения амплитуды осцилляций за счет использования вместо воздуха – жидкости.

Поскольку жидкость несжимаема, то давление от стенки артерии передается на компрессионную манжету по тканям и мышцам с незначительными изменениями за счет демпфирования тканей. В основном амплитуда осцилляций в гидроманжете достигает 30–60 % от вариации значений давления и составляет 15–25 мм рт. ст. Это позволяет существенно снизить влияние шумов, артефактов движения и увеличить чувствительность системы при оценке изменений формы и контура огибающей.

Для реализации гидроманжетной технологии формирования осцилляций [1, 2] предложена структурная схема, представленная на рис. 1.

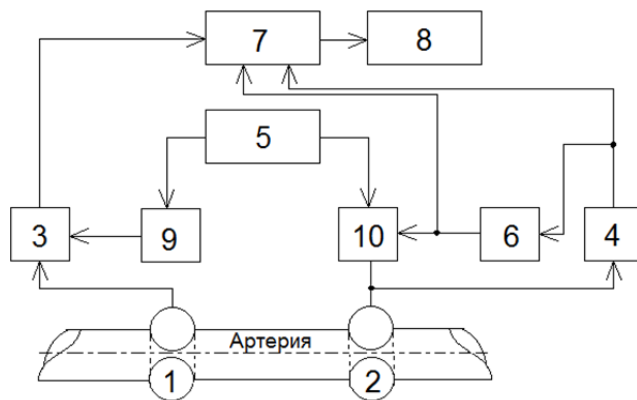


Рис. 1. Блок-схема гидроманжетного тонометра: 1, 2 – компрессионные гидроманжеты; 3, 4 – датчики давления; 5 – источник давления; 6 – анализатор давления; 7 – блоки регистрации; 8 – блок индикации; 9, 10 – блоки управления давлением

Две компрессионные манжеты 1 и 2 заполняются жидкостью. Давление в манжетах определяется датчиками 3 и 4. В качестве источника давления 5 используются жидкостная помпа и резервуар с заданным объемом жидкости. Значения давлений в гидроманжетах обрабатываются в анализаторе давления 6, записываются в регистратор 7 и поступают на индикацию 8. Регулировка давления в гидроманжетах осуществляется блоками управления давлением 9 и 10.

Для проведения исследований и отработки алгоритмов обработки сигналов на основе гидроманжетной технологии формирования осцилляций разработан портативный микропроцессорный комплекс [3–7].

Для определения характеристик тонометра в реальном масштабе времени создана модель алгоритма в среде LabVIEW. В качестве аппаратной платформы для созданной модели использована система сбора данных компании National Instruments. На рис. 2 приведен внешний вид программного комплекса для отработки алгоритмов и основной программы получения значений АД на основе гидроманжетной технологии [8].

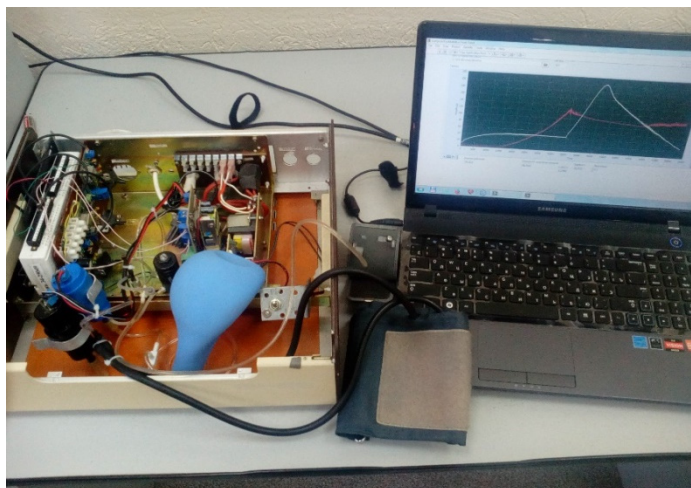


Рис. 2. Внешний вид программного комплекса для отработки алгоритмов и основной программы получения значений АД на основе гидроманжетной технологии

Программа комплекса позволяет запускать алгоритмы в реальном времени (одновременно с записью сигналов в файл), тестировать алгоритмы на данных из ранее записанных файлов. Работа модели с двумя манжетами в реальном времени разделена на две составляющие – проведение измерения и нахождение значений давления. Необходимый режим компрессии в обеих манжетах устанавливается с помощью ПИД регуляторов. Настройки режима измерения можно изменять на специальной вкладке, представленной на рис. 3.

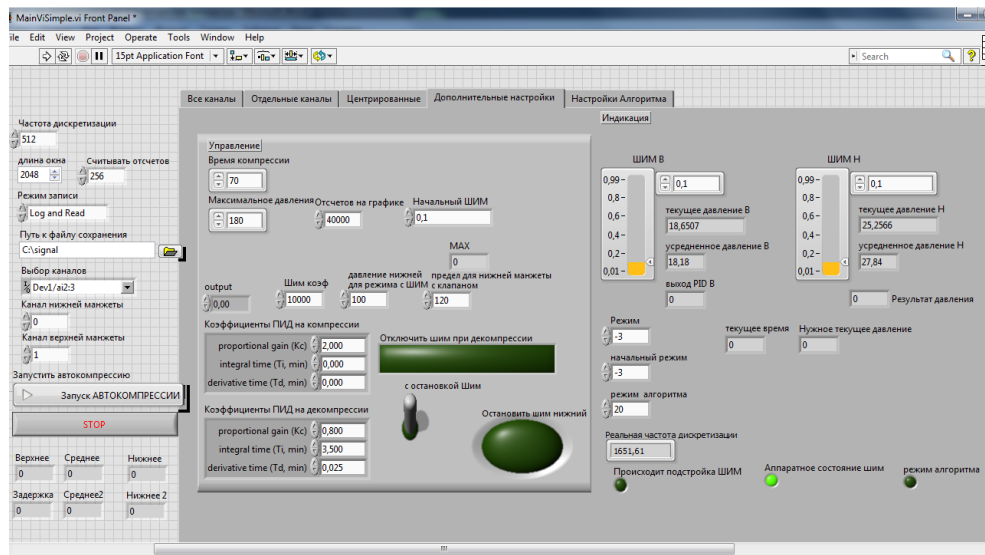


Рис. 3. Панель виртуального прибора для настройки режимов измерения

На рис. 4 приведены типовые сигналы изменения давления во времени.

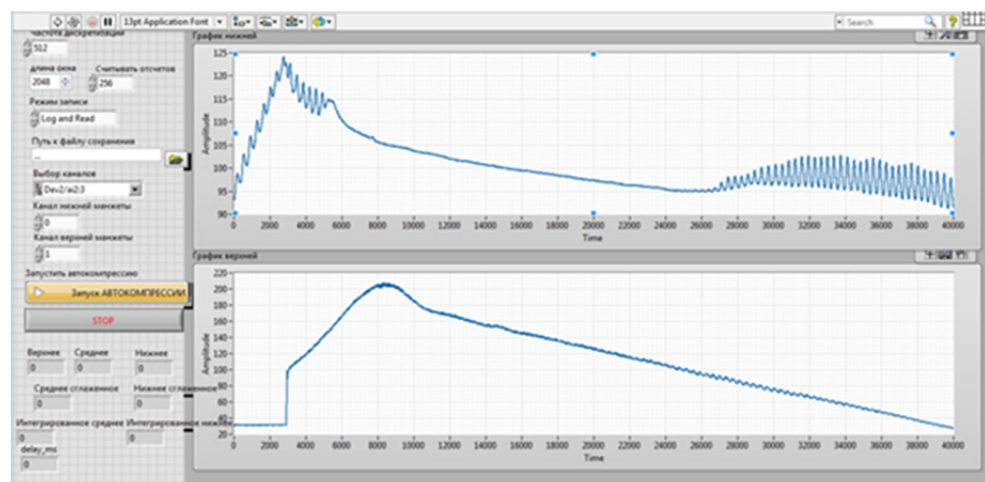


Рис. 4. Типовые сигналы изменения давления в манжетах во времени

Основные процедуры оценки значений давления

На рис. 5 показаны графики изменения давления в гидроманжетах. Методика определения систолического давления основана на нахождении мо-

мента появления осцилляций в нижней гидроманжете при стравливании давления верхней манжеты. На рисунке этот момент обозначен точкой А и соответствует давлению 121,3 мм рт. ст. Диастолическое давление находится по максимальной амплитуде осцилляций в нижней манжете (точка Б) и соответствует значению 84,6 мм рт. ст.

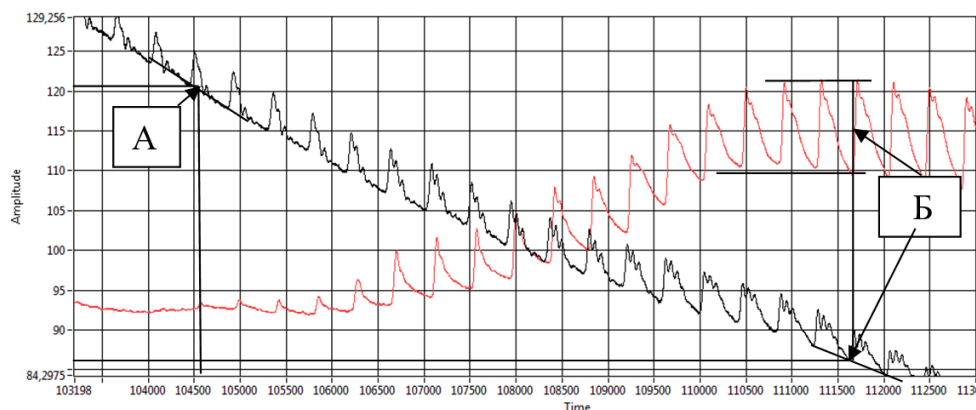


Рис. 5. Графики изменения давления в гидроманжетах

Для нахождения момента появления осцилляций производится удаление среднего уровня из сигнала нижней манжеты и нахождение первого импульса, превышающего установленный порог амплитуды осцилляций. Сигнал без среднего уровня с установленным порогом представлен на рис. 6.

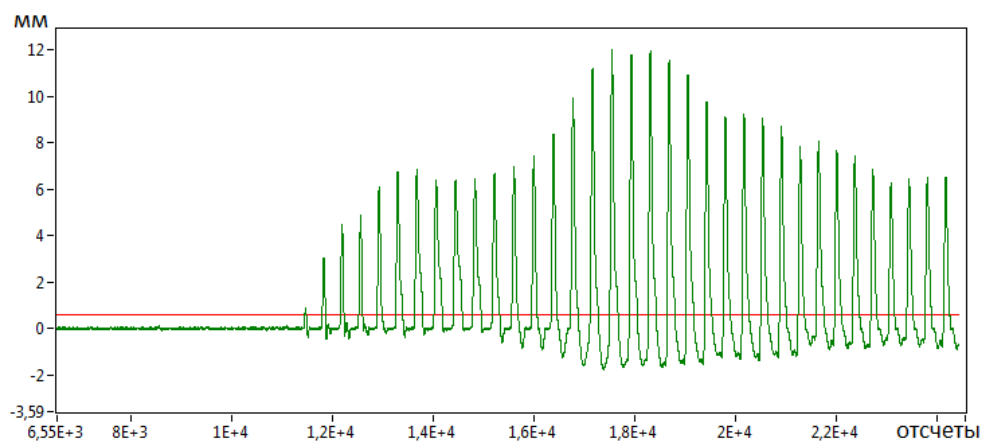


Рис. 6. Сигнал без среднего уровня с установленным порогом

Разработанная реализация программного комплекса позволяет в реальном времени проводить измерение давления, оценивать точность работы алгоритма, проводить отработку программы и ее корректировку. Все этапы измерения происходят в автоматическом режиме и при необходимости могут быть продублированы по записанным в ходе измерения сигналам. На основании проведенных исследований отработаны алгоритмы и программа оценки АД на основе гидроманжетной технологии. Погрешность оценки значений АД оценивается на уровне 1–2 % [9].

Выводы

1. Предложена новая многоуровневая модульная структура микропроцессорного комплекса для оценки артериального давления с повышенной точностью. Разработаны унифицированные модули для получения и обработки сигналов на основании гидроманжетной технологии получения осцилляций.
2. Разработаны алгоритмы и оригинальное программное обеспечение по компьютерной обработке диагностической информации в режиме реального времени для получения гемодинамических параметров на основе гидроманжетной технологии получения осцилляций.
3. Разработан портативный микропроцессорный комплекс для оценки гемодинамических параметров, соответствующий современному уровню приборов данного класса.

Библиографический список

1. Пат. 104437 РФ. Тонометр Геращенко / Геращенко М. С. – 2011. – URL: <http://bankpatentov.ru/node/78436> (дата обращения 05.05.2016).
2. Пат. 2652070 РФ. Электронный тонометр / Геращенко С. И., Геращенко М. С. – Заявл. 16.05.2017. – Опубл. 24.04.2018, Бюл. № 12. – 2017.
3. К вопросу о реализации неинвазивных методов измерения параметров пульсовой волны автономными портативными приборами / М. А. Писарев, Б. В. Чувькин, С. И. Геращенко, М. С. Геращенко, Н. А. Волкова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 1 (15). – С. 89–94.
4. Геращенко, М. С. Использование гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров с повышенной точностью / М. С. Геращенко, Н. А. Волкова, С. М. Геращенко // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2016. – № 3 (39). – С. 114–123.
5. Геращенко, С. М. Разработка запястной гидроманжетной системы прогнозирования инфаркта миокарда / С. М. Геращенко, М. С. Геращенко, Н. А. Волкова, М. А. Писарев // Вестник Пензенского государственного университета. – 2016. – № 1 (13). – С. 47–50.
6. Геращенко, С. М. Разработка гидроманжетного прибора для мониторинга гемодинамических параметров / М. С. Геращенко, С. И. Геращенко, С. М. Геращенко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 112–117.
7. Gerashchenko, M. S. Application of the hydrocuff technology for blood pressure evaluation / M. S. Gerashchenko, S. M. Gerashchenko, S. I. Gerashchenko, N. N. Yankina // International Journal of Applied Engineering Research. – 2016. – Т. 11. – № 4. – С. 2271–2274.
8. Данилина, О. С. Комплекс суточного мониторинга гемодинамических показателей сердечно-сосудистой системы человека / О. С. Данилина, А. А. Мнацаканян, С. И. Геращенко, С. М. Геращенко // Вестник Пензенского государственного университета. – 2015. – № 3 (11). – С. 114–117.
9. Геращенко, М. С. Оценка погрешности гидроманжетного тонометра / М. С. Геращенко, С. И. Геращенко, С. М. Геращенко // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 4 (18). – С. 106.

Геращенко Михаил Сергеевич
ассистент,
кафедра медицинской кибернетики
и информатики,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: mpo@list.r

Gerashchenko Mikhail Sergeevich
assistant,
sub-department of medical cybernetics
and informatics,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 61.616-71

Геращенко, М. С.

Прибор для определения артериального давления с повышенной точностью на основе гидроманжетной технологии / М. С. Геращенко // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2018. – № 2 (26). – С. 114–121.