

УДК 681.2.08:57.087,
DOI 10.21685/2072-3059-2016-3-11

М. С. Геращенко, Н. А. Волкова, С. М. Геращенко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОМАНЖЕТНОГО ТОНОМЕТРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ГЕМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ С ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТЬЮ

Аннотация.

Актуальность и цели. Объектом исследования является изучение преимуществ использования гидроманжетной технологии при оценке гемодинамических параметров у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями, а также людей, имеющих риск их развития. Предметом исследования являются устройства диагностики сердечно-сосудистых заболеваний, определяющие показатели артериального давления и гемодинамики. Цель исследования – разработка блок-схемы устройства, реализующего использование гидроманжетной технологии для определения гемодинамических параметров и алгоритма его работы, позволяющего обеспечить массовость обследования и точность измерения показателей гемодинамики.

Материалы и методы. При разработке блок-схемы гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров и алгоритма его работы применялись методы цифровой обработки сигналов, основы схемотехнического проектирования измерительных устройств, методы нечеткой логики.

Результаты. Проведен анализ известных решений в области определения гемодинамических параметров для диагностики сердечно-сосудистых заболеваний. Показана перспективность применения гидроманжетной технологии в устройствах неинвазивного контроля гемодинамических параметров. Разработаны структурная схема устройства и алгоритм расчета и оценки гемодинамических параметров с применением гидроманжетной технологии, позволяющего повысить точность расчета гемодинамических показателей за счет применения гидроманжетной технологии при измерении объемной скорости распространения пульсовой волны

Выводы. Использование гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров позволяет обеспечить массовый скрининг населения с целью выявления групп риска сердечно-сосудистых заболеваний, выполнять контроль за течением заболевания, а также осуществлять оценку эффективности лечения на основе получения суррогатных точек.

Ключевые слова: осциллометрия, гидроманжетная технология, тонометр, параметры артериального давления, гемодинамические показатели.

M. S. Gerashchenko, N. A. Volkova, S. M. Gerashchenko

USING A HYDRO-CUFF TONOMETER FOR EVALUATION OF HEMODYNAMIC PARAMETERS WITH ENHANCED PRECISION

Abstract.

Background. The research object is a study of benefits of using hydro-cuff technologies for evaluation of hemodynamic parameters in patients with cardiovascular diseases, as well as people under the risk of development thereof. The research subject embraces devices of cardiovascular diseases diagnostics that determine arterial

tension and hemodynamic indices. The aim of the research is to develop a block diagram of a device that applies hydro-cuff technologies for hemodynamic parameters determination and a functioning algorithm thereof, allowing to provide large-scale examination and precision of hemodynamic indices determination.

Materials and methods. In order to develop the block diagram of a hydro-cuff tonometer for evaluation of hemodynamic parameters and the functioning algorithm thereof the authors used methods of digital signal processing, foundations of circuit design of measuring devices, methods of fuzzy logic.

Results. The researchers analyzed the known solution in the field of hemodynamic parameters determination for diagnostics of cardiovascular diseases, as well as showed the prospects of using hydro-cuff technologies in the devices of noninvasive monitoring of hemodynamic parameters. The authors developed the block diagram of the device and the algorithm of calculation and evaluation of hemodynamic parameters using hydro-cuff technologies allowing to increase the accuracy of calculation of hemodynamic indices due to application of hydro-cuff technologies when measuring the volume velocity of pulse wave propagation.

Conclusions. The use of the hydro-cuff tonometer for evaluation of hemodynamic parameters allows to ensure large-scale screening of population in order to detect cardiovascular diseases risk groups, to monitor clinical courses of diseases, as well as to estimate the efficiency of treatment on the basis of the obtained surrogate points.

Key words: oscillometry, hydro-cuff technology, tonometer, arterial tension parameters, hemodynamic indices.

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) лидируют среди основных факторов смертности населения. Проведение массового скрининга населения с целью выявления групп риска на ранней доклинической стадии заболевания является важной проблемой в кардиологии [1].

Использование гемодинамических параметров при диагностике ССЗ, а также в качестве суррогатной точки в процессе лечения ССЗ и профилактики осложнений [2] является перспективным направлением. На сегодня известно достаточно большое количество неинвазивных устройств для измерения параметров кровотока, заключающегося в расчете гемодинамических показателей и их дальнейшей оценке.

1. Анализ предметной области

Можно выделить три группы приборов в зависимости от метода, положенного в основу их работы. Это приборы ультразвуковой (УЗИ) диагностики, плетизмографы и осциллометрические приборы. Каждая из групп устройств имеет как достоинства, так и недостатки. Устройства, выполняющие расчет гемодинамических показателей на основе результатов УЗИ сердечно-сосудистой системы (ССС), позволяют достаточно точно и в короткие сроки получить широкий спектр гемодинамических параметров, но такие устройства очень дорогостоящие, использование их возможно только высококвалифицированным медицинским персоналом, в связи с чем массовое обследование населения с целью выявления групп риска ССЗ устройствами, работающими по методу УЗИ, невозможно. Среди устройств, использующих для получения гемодинамических параметров метод плетизмографии,

в настоящее время наибольшее распространение получают плетизмографы, использующие метод фотоплетизмографии, регистрирующие изменения светопроницаемости части тела, в зависимости от степени ее кровенаполнения. Считается, что форма кривой, зарегистрированной фотоплетизмографом, внешне сходна с формой пульсовой волны. Однако применение фотоплетизмографии сопряжено с высокой степенью погрешности измерений и их интерпретации из-за того, что результаты практически невозможно выразить в единицах объема, а также невозможно сравнивать зарегистрированные показатели светопроницаемости различных участков тела между собой.

Приборами контроля гемодинамических параметров, позволяющими проводить массовый скрининг населения ввиду их простоты использования и невысокой стоимости, а также достаточной информативности, могут выступать осциллометрические устройства. Такие устройства позволяют получать параметры кровяного давления – систолическое давление (P_s), диастолическое давление (P_d), а также пульсовое давление (P), частоту сердечных сокращений (F), параметры гемодинамики – *скорость распространения пульсовой волны, сердечный выброс, ударный объем, сердечный индекс и ударный индекс*.

Среди осциллометрических устройств измерения параметров кровотока можно выделить приборы с использованием одной компрессионной манжеты [3] и приборы с использованием двух компрессионных манжет [4]. Недостатком приборов с использованием одной компрессионной манжеты является косвенный способ определения скорости распространения пульсовой волны исходя из времени запаздывания между прямой и отраженной пульсовой волнами от бифуркации брюшной артерии. При этом длина артерии также определяется косвенно, путем измерения расстояния между грудным углублением и лобковой костью, что приводит к погрешности. Недостатками существующих устройств с применением двух компрессионных манжет является низкая помехозащищенность и точность измерения, обусловленная искаженным характером регистрации колебаний поверхности манжеты и показаний датчика давления, обусловленного сжимаемостью воздуха и искажением передачи значения давления на датчик.

Поэтому необходимо разработать устройство, совмещающее простоту применения осциллометрических приборов, низкую стоимость исследования, а также обеспечивающее точность, достаточную для диагностики. Применением гидроманжетного тонометра, в котором применение в качестве рабочего тела манжеты несжимаемой среды – жидкости, позволит повысить точность измерения давления и значения скорости распространения пульсовой волны [5], а также обеспечит массовое применение.

2. Разработка структуры гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров

Устройство оценки гемодинамических показателей с применением гидроманжетной технологии (рис. 1) включает в себя две компрессионные манжеты 1 и 2, первый 3 и второй 4 датчики давления, два источника давления 5 и 6, первый и второй блоки 7, 8 управления источниками давления, блок анализа и расчета 9 и блок индикации 10. Датчики 3, 4 давления входами связа-

ны с первой 1 и второй 2 компрессионными манжетами соответственно. Выход датчика давления 4 второй манжеты 2 связан с блоком управления 8 источника давления 6. Выход датчика 3 давления первой манжеты 1 связан с блоком управления 7 источника давления 5 и с блоком управления 8 источника давления 6. Датчики давления 3, 4 связаны выходами с блоком анализа и расчета 9 соответственно, выход блока анализа и расчета 9 соединен с блоком 10 индикации. Источники давления 5, 6 содержат резервуары с заданным объемом жидкости и насосы для подачи давления.

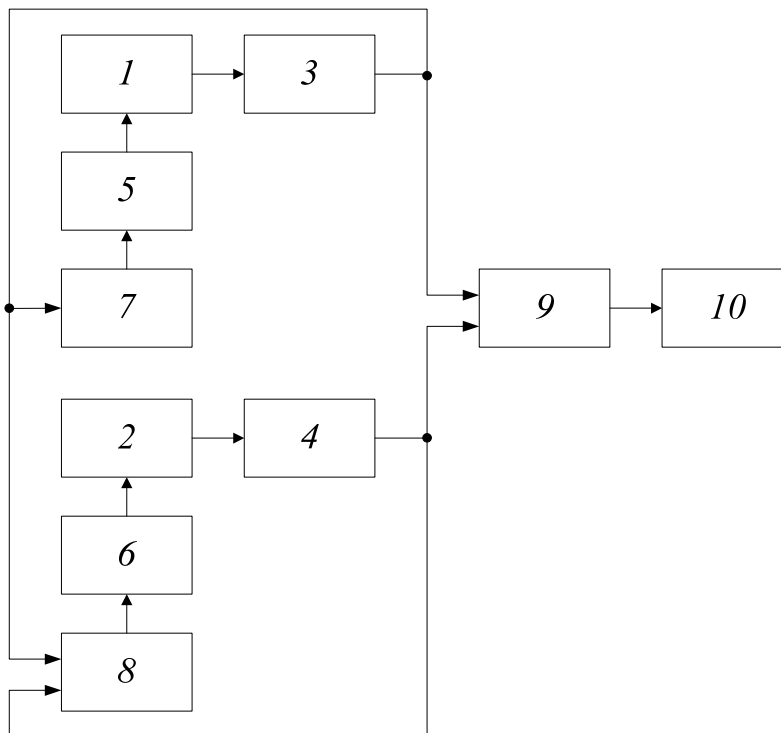


Рис. 1. Структурная схема гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров

Выбор в качестве рабочего тела несжимаемой среды повышает точность измерения давления [5], значительно увеличивает амплитуду регистрируемого сигнала, что снижает влияние шумов, а применение двух блоков управления обеспечивает синхронную компрессию и декомпрессию давления обеих манжетах, что значительно увеличивает точность измерения скорости распространения пульсовой волны (СРПВ).

3. Разработка алгоритма работы гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров

Для расчета и оценки гемодинамических показателей с применением гидроманжетной технологии предлагается следующий алгоритм обследования:

1. На первом этапе вводятся данные о пациенте: рост, вес, пол, возраст.
2. На основе данных первого этапа автоматически рассчитывается площадь поперечного сечения аорты и площади поверхности тела.

3. Накладываются манжеты и измеряется расстояние между датчиками, полученное значение также вводится в программу и используется для дальнейших расчетов.

4. Производится регистрация кривых давления.

5. Измеряются уровни систолического давления, диастолического давления, рассчитывается пульсовое давление.

6. Производится анализ кривой давления, зарегистрированной в манжете, наложенной на плечо; расчет длительности систолы, диастолы и сердечного цикла в секундах.

7. Вычисляются значения задержки между кривыми давления, зарегистрированными в первой и второй манжетах, рассчитывается скорость распространения пульсовой волны.

8. Рассчитываются гемодинамические показатели.

9. Производится оценка полученных значений на основе нечеткой логики.

Рассмотрим пример вычисления и оценки гемодинамических показателей для женщины 30 лет, рост 160 см, вес 55 кг.

Для расчета показателя площади поперечного сечения аорты разработана программная реализация номограммы по Савицкому. На рис. 2 представлена номограмма для определения площади поперечного сечения аорты по росту и массе тела (составлена Н. Н. Савицким). На оси ординат – рост (в см), косые линии – масса тела (в кг); на оси абсцисс – площадь сечения аорты (в см^2). На рис. 2 выделена точка, соответствующая значению площади поперечного сечения аорты для человека с ростом 160 см и массой тела 55 кг.

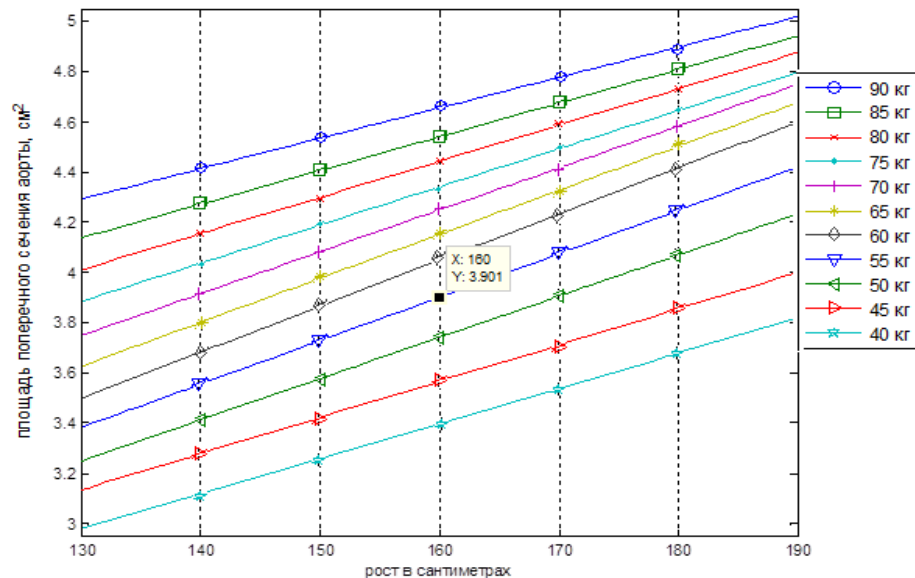


Рис. 2. Номограмма для определения площади поперечного сечения аорты по росту и массе тела

Далее в соответствии с шагом 3 алгоритма производят наложение гидроманжет с фиксацией расстояния между датчиками и регистрируют кривые

давления при прохождении пульсовой волны. На рис. 3 представлена общая схема наложения манжет при прохождении пульсовой волны.

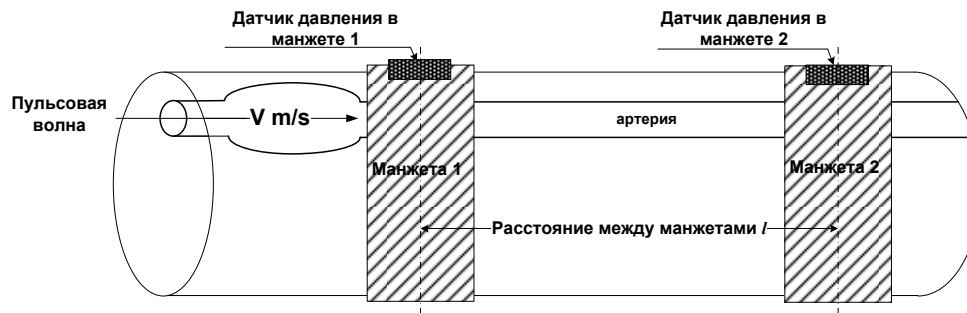


Рис. 3. Схема наложения компрессионных манжет при прохождении пульсовой волны

На рис. 4 представлены две кривые, характеризующие изменение давления в камерах гидроманжет, находящихся на расстоянии 20 см, при прохождении пульсовой волны на уровне 120 мм рт.ст. давления в манжетах. Первая манжета (черная кривая) расположена на плече, вторая манжета (серая кривая) расположена на запястье.

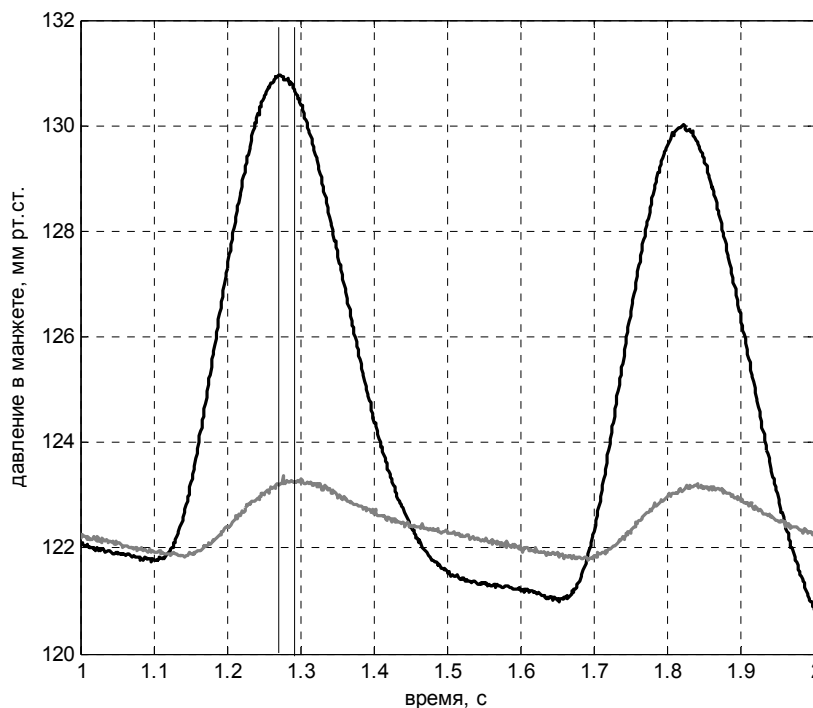


Рис. 4. Кривые изменения давления в двух гидроманжетах при прохождении пульсовой волны

Как видно из рис. 4, кривая, зарегистрированная во второй манжете, запаздывает относительно кривой, зарегистрированной в первой манжете. При

известных времени запаздывая и расстоянию между датчиками рассчитывается значение скорости распространения пульсовой волны [6].

Для дальнейшей обработки следует выделить один сердечный цикл. Выбранный участок дифференцируется и полученный сигнал сглаживается. Результат дифференцирования участка, соответствующего единичному сердечному циклу, представлен на рис. 5 (серым, черным выделен результат сглаживания сигнала).

Далее следует найти точки пересечения кривой с осью абсцисс, которые будут соответствовать началу цикла, достижения сигналом максимального значения и изменения знака, т.е. завершения фазы систолы и перехода сердца в фазу диастолы, и завершения полного сердечного цикла. Из полученных точек рассчитывается длительность систолы, диастолы и сердечного цикла.

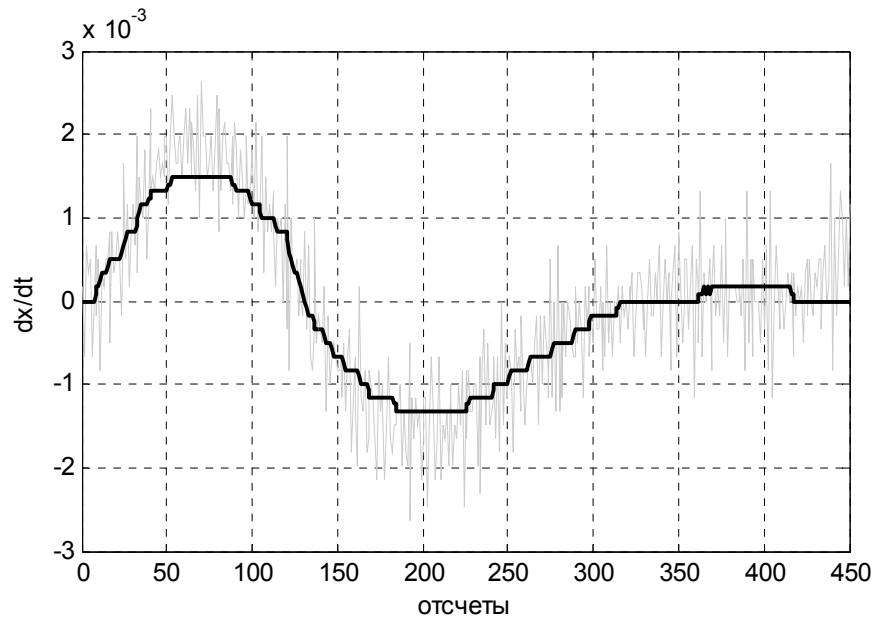


Рис. 5. Результат дифференцирования и сглаживания участка сигнала

Для рассматриваемого примера получены значения длительностей систолы, диастолы и сердечного цикла: $S = 0,26$ с, $D = 0,56$ с, $T = 0,82$ с. Величина систолического давления 120 мм рт.ст., величина диастолического давления 80 мм рт.ст. Значение пульсового давления рассчитывается как разность между систолическим и диастолическим давлением, для рассматриваемого примера $P = 40$ мм рт.ст.

Расчет гемодинамических показателей на шаге 8 выполняется в соответствии с формулами (1)–(4).

Сердечный выброс (E) – количество крови, которое перекачивает сердце в 1 мин, в норме составляет 5–7 л/мин [1, 6] и определяется по формуле

$$E = \frac{1333ZQPST}{vD}, \quad (1)$$

где Q – площадь поперечного сечения аорты (см^2), определяемая по таблицам или номограммам; 1333 – множитель для перевода давления в дины; P – пульсовое давление; Z – фактор поправки (для человека принимается равным 0,6); S , D , T – соответственно длительность систолы, диастолы и сердечного цикла (с); v – скорость распространения пульсовой волны по аорте (см/с).

Ударный объем (V) – объем крови, выбрасываемый желудочком в течение одной систолы рассчитывается по формуле

$$V = \frac{E}{F}, \quad (2)$$

где F – частота сердечных сокращений (ЧСС).

Более информативным показателем является отношение сердечного выброса к площади поверхности тела (A), данный показатель называют сердечным индексом (I_1), его значения в норме колеблются в пределах 2,5–3,5 л/(мин · м^2) и определяются по формуле

$$I_1 = \frac{E}{A}. \quad (3)$$

Значение площади поверхности тела рассчитывается из значений массы тела и роста [6].

Отношение ударного объема к площади поверхности тела называется ударным индексом (I_2), рассчитывается по формуле (мл/м^2):

$$I_2 = \frac{V}{A}. \quad (4)$$

Для рассматриваемого примера расчета гемодинамических показателей получены следующие значения сердечного выброса – 7,44 л/мин, ударного объема – 180 мл, сердечного индекса – 4,7 л/(мин · м^2), ударного индекса – 117 мл/м^2 .

Сравнение полученных значений с эталонными значениями на шаге 9 выполняется на основе теории нечетких множеств. При диагностике важно соблюдать логику врача, которая, как любая информация человеческого мозга, обладает нечеткостью. По мнению психологов, практически вся числовая информация в человеческом мозге вербально перекодируется и хранится в виде лингвистических термов. Понятие лингвистической переменной играет важную роль в нечетком логическом выводе и в принятии решений на основе приближенных рассуждений [7]. В результате работы алгоритма производится вывод значений параметров гемодинамики с их оценкой по шкале «в норме», «ниже нормы», «выше нормы» [8]. При отклонении значений от нормы необходима более тщательная интерпретация результатов врачом.

При использовании гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров с целью контроля за состоянием пациента при медикаментозной терапии необходимо изучение тренда изменения гемодинамических параметров конкретного человека.

Все полученные данные (результаты непосредственно измерения артериального давления [8] и гемодинамические показатели, полученные в результате работы алгоритма) должны сохраняться на внешнем носителе и вноситься в общую базу данных лечащего врача.

Заключение

Использование гидроманжетного тонометра для оценки гемодинамических параметров позволяет повысить точность расчета гемодинамических показателей за счет более точного измерения СРПВ, обеспечить массовый скрининг населения с целью выявления групп риска ССЗ, использовать гемодинамические показатели и параметры артериального давления при диагностике ССЗ, а также в качестве суррогатной точки в процессе лечения ССЗ и профилактики осложнений.

Список литературы

1. Рекомендации по диагностике и лечению артериальной гипертензии // Артериальная гипертензия. – 2004. – Т. 10, № 2.
2. Национальные рекомендации по кардиоваскулярной профилактике // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2011. – Т. 10, № 6. – Приложение 2.
3. Патент 2338458 Российская Федерация. Устройство и способ для измерения гемодинамических параметров / ИЙЕШ Миклош, БЕРЕШ Йожеф. – Оpubл. 20.11.2008.
4. Патент 2343826 Российская Федерация. Устройство для определения параметров сердечно-сосудистой системы (варианты) / Гурфинкель Ю. И., Дергачев А. А., Острожинский В. А. – Оpubл. 20.01.2009.
5. Патент на полезную модель № 104437 Российская Федерация. Тонометр Геращенко / Геращенко М. С. 2011. – URL: <http://bankpatentov.ru/node/78436> (дата обращения: 05.05.2016).
6. Интенсивная терапия / В. Д. Малышев, И. В. Веденина, Х. Т. Омаров и др. ; под ред. проф. В. Д. Малышева. – М. : Медицина, 2002. – 584 с.
7. **Штовба, С. Д.** Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику / С. Д. Штовба. – URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата обращения: 09.10.2014).
8. **Волкова, Н. А.** Алгоритм диагностики состояния сердечно-сосудистой системы по результатам многократных измерений артериального давления и пульса / Н. А. Волкова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 1 (33). – С. 43–49.

References

1. *Arterial'naya gipertenziya* [Arterial hypertension]. 2004, vol. 10, no. 2.
2. *Kardiovaskulyarnaya terapiya i profilaktika* [Cardiovascular therapy and prophylaxis]. 2011, vol. 10, no. 6, appendix 2.
3. *Patent 2338458 Rossiyskaya Federatsiya. Ustroystvo i sposob dlya izmereniya gemodinamicheskikh parametrov* [Patent 2338458 of the Russian Federation. A device and a method of hemodynamic parameters measurement]. IYESh Miklosh, BERESH Yozhef. Publ. 20.11.2008.
4. *Patent 2343826 Rossiyskaya Federatsiya. Ustroystvo dlya opredeleniya parametrov serdechno-sosudistoy sistemy (varianty)* [Patent 2343826 of the Russian Federation. A device for cardiovascular system parameters determination (variants)]. Gurfinkel' Yu. I., Dergachev A. A., Ostrozhinskiy V. A. Publ. 20.01.2009.
5. *Patent na poleznuyu model' № 104437 Rossiyskaya Federatsiya. Tonometr Gerashchenko* [Useful model patent № 104437 of the Russian Federation. The Gerashchenko tonometer]. Gerashchenko M. S. 2011. Available at: <http://bankpatentov.ru/node/78436> (accessed 05.05.2016).
6. Malyshev V. D., Vedenina I. V., Omarov X. T. et al. *Intensivnaya terapiya* [Intensive therapy]. Moscow: Meditsina, 2002, 584 s.

7. Shtovba S. D. *Vvedenie v teoriyu nechetkikh mnozhestv i nechetkuyu logiku* [Introduction into the set theory and fuzzy logic]. Available at: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (accessed 09.10.2014).
8. Volkova N. A. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2015, no. 1 (33), pp. 43–49.

Геращенко Михаил Сергеевич

аспирант, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: mifon1@yandex.ru

Gerashchenko Mikhail Sergeevich

Postgraduate student, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Волкова Наталья Александровна

аспирант, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: witchys@inbox.ru

Volkova Natal'ya Aleksandrovna

Postgraduate student, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Геращенко Сергей Михайлович

доктор технических наук, профессор, кафедра медицинской кибернетики и информатики, Медицинский институт, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: gsm@pnzgu.ru

Gerashchenko Sergey Mikhaylovich

Doctor of engineering sciences, professor, sub-department of medical cybernetics and informatics, Medical Institute, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

УДК 681.2.08:57.087,

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. DOI 10.21685/2072-3059-2016-3-11