

Р.Н. Каратаев, А.И. Сойко, А.И. Хрунина, И.Н. Сеницын

ПОВЕРКА ИЗМЕРИТЕЛЕЙ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ И ЧАСТОТЫ СЕРДЕЧНЫХ СОКРАЩЕНИЙ НА ПУЛЬСИРУЮЩИХ ПОТОКАХ ЖИДКОСТИ

Аннотация

В статье представлен обзор и приведена классификация установок для комплектной поверки измерителей артериального давления и частоты сердечных сокращений, использующих метод генераций пульсирующих потоков жидкости.

Измерители артериального давления и частоты сердечных сокращений (ИАД) быстро вошли в повседневную жизнь благодаря в первую очередь своим эргономическим характеристикам, таким как удобство эксплуатации, отсутствие субъективной составляющей погрешности измерения, место расположения компрессионной манжеты и т. п. Однако они не стали надежной альтернативой ртутным измерительным приборам, которые в силу потенциальной экологической опасности были сняты с производства. Тем не менее проблема точности измерения цифровыми измерительными приборами ставит задачу развития и совершенствования существующей эталонной поверочной базы в этой области измерений.

В основном процедура поверки таких приборов существующими установками сводится, как правило, к оценке косвенным способом метрологических свойств датчика давления с выходным токовым или частотным сигналом, обладающего достаточной точностью, малой инерционностью и не очень сложной технологией изготовления [1]. Этот вид поверки, при котором измерительный прибор поверяют по метрологическим характеристикам его элементов (по каналу давления и частоты в отдельности), относят к поэлементной поверке. К установкам, реализующим такой подход, относят разработанные во ФГУП «ВНИИОФИ» установки для поверки канала давления УПКД с погрешностью $\pm 0,8$ мм рт. ст., для поверки канала частоты – УПКЧП с погрешностью $\pm 1,5$ %, для поверки канала давления и частоты – УПКД-2 с погрешностью $\pm 0,5$ мм рт. ст. по давлению и $\pm 0,5$ % по частоте, анализатор работы мониторов неинвазивного давления крови «CuffLink» с погрешностью ± 1 мм рт. ст. по давлению и ± 1 % по частоте, а также собственные средства поверки фирм-производителей измерительных приборов артериального давления, таких как «Omron corporation» и т. д. [2]. Однако данный вид поверки не учитывает внутренних связей прибора, не позволяет определить метрологических характеристик, присущих ему как единому целому.

Разработка поверочных установок, использующих одновременное и взаимосвязанное воспроизведение и передачу размеров единиц давления и

частоты пульса, представляется в связи с этим важным научно-техническим направлением развития эталонной базы; при этом установки, использующие комплектный способ поверки таких приборов, должны обеспечивать требуемую точность измерений, соответствующую требованиям национальных и международных стандартов [3], [4].

Комплектный подход к поверке приборов для измерения артериального давления позволяет получить ряд преимуществ, среди которых увеличение производительности поверочных работ, определение их метрологических характеристик, присущих им как единому целому и т. д. [1], [2], [5]. Еще одним немаловажным достоинством рассматриваемых поверочных установок является возможность их использования для поверки ИАД с манжетами на запястье. Установки для комплектной поверки позволяют воспроизводить значения сразу трех измеряемых величин: систолического P_{B0} и диастолического P_{D0} давления, а также частоты сердечных сокращений f_0 , при этом сокращается время самой поверки.

Первой такой установкой стала установка УПАД-1, разработанная и введенная в действие ФГУ «Тест-Татарстан». Входящий в состав поверочной установки задатчик пульсаций давления создает периодические колебания жидкости в цилиндре, имитирующем руку человека, путем толкания стержня электромагнита об его эластичное дно [1]. Здесь пульсации давления передаются на компрессионную манжету через весь цилиндр, имитирующий руку, тогда как в реальном процессе пульсации давления передаются только по артерии; при этом конструктивно предусмотрено отсоединение компрессионной манжеты от поверяемого средства измерения для его подключения через элемент подсоединения к пневмосистеме установки, тогда как у ряда типов средств измерений отсоединение манжеты конструктивно не предусмотрено, и следовательно, провести поверку такого средства на этой установке невозможно.

С целью уменьшения методической составляющей погрешности измерения и устранения указанных недостатков в ФГУ «Тест-Татарстан» была разработана установка УПАД-2 [1], в которой пульсации давления передаются через тонкую трубку,

имитирующую артерию руки человека, а передача давления через гидравлическую систему происходит без нарушения целостности поверяемого прибора. Как показали проведенные исследования, колебания, создаваемые задатчиком пульсаций давления, не всегда регистрируются алгоритмами поверяемых приборов, особенно при малой частоте колебаний ($f = 0,5$ Гц).

С целью расширения функциональных возможностей поверочных установок и генерирования импульсов колебаний различных форм и амплитуд была поставлена задача разработки метода генераций пульсирующих потоков жидкости в измерительном канале [2], основанного на использовании специальных профилей выходных окон устройства генерации колебаний [6], реализованных в виде различных геометрических фигур. На основании предложенного метода была разработана установка [7], представленная на рис. 1, в которой генерирование пульсирующих потоков достигалось специальным устройством генерации колебаний – пульсатором расхода 2.

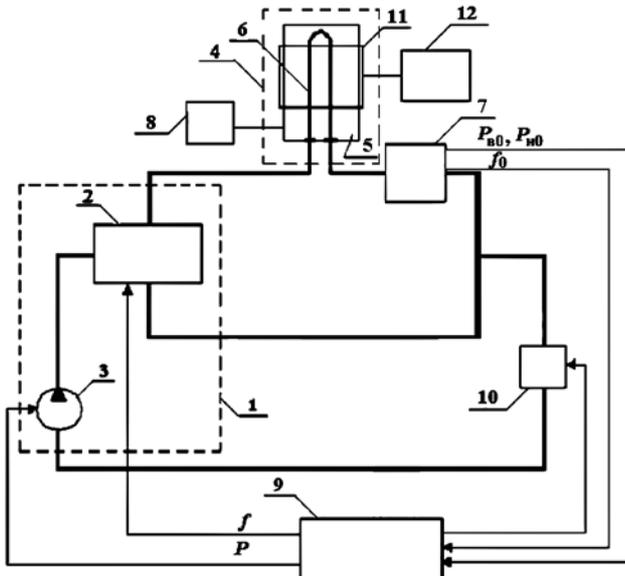
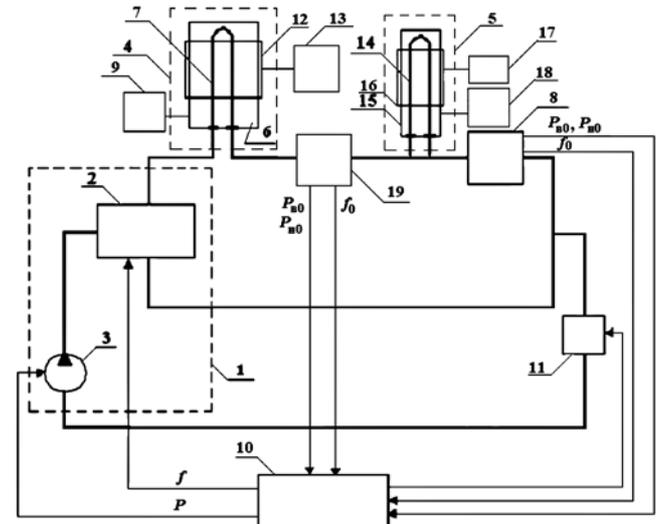


Рис. 1. Установка для комплектной поверки ИАД с одним измерительным модулем с манжетой на плечо

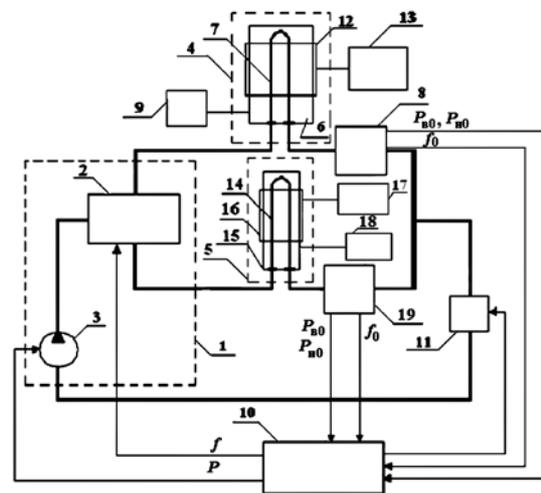
Измеряемые величины давления P и частоты пульса f подаются с блока управления 9 на источник пульсаций давления 1, представляющий собой насос 3 и пульсатор расхода 2, создающий модулированный сигнал по амплитуде и частоте и установленный в точке разветвления трубопровода и байпасной линии, образуя измерительный и байпасный каналы. В измерительном канале установлен измерительный модуль 4, представляющий собой цилиндр 5, имитирующий руку человека, в котором размещена гибкая эластичная трубка 6, имитирующая артерию руки человека. На цилиндр 5 надевается компрессионная манжета 11 поверяемого прибора 12. Стабильность давления в измерительном модуле осуществляется блоком стабилизации давления 8. Контроль давления в измерительном канале осуществляет рабочий эталон давления

7, представляющий собой цифровой комплекс для измерения давления ИПДЦ с пределом допускаемой погрешности $\delta_{И} = 0,06$ %. Контроль частоты колебаний осуществляется частотомером ЧЗ-63/1 с погрешностью $\pm 5 \cdot 10^{-7}$. Показания рабочего эталона давления и частотомера поступают на блок управления 9, регулятор давления 10 служит для компенсации давления во всей измерительной системе.

Однако данная установка используется только для поверки ИАД с манжетами на плечо.



а)



б)

Рис. 2. Установки для комплектной поверки ИАД: а) с последовательным расположением двух измерительных модулей [8]; б) с параллельным расположением двух измерительных модулей [9]

С целью расширения номенклатуры поверяемых ИАД и повышения производительности работ по поверке ИАД с манжетами на плечо и на запястье авторами были разработаны три поверочных установки:

- 1) установка для поверки ИАД с манжетами на плечо и запястье с последовательным расположением измерительных модулей (рис. 2а);

- 2) установка для поверки ИАД с манжетами на плечо и запястье с параллельным расположением измерительных модулей (рис. 2б);
- 3) установка для поверки ИАД с манжетами на плечо и запястье с применением гидравлического имитатора давления и частоты (рис. 3).

На параллельных участках гидравлического тракта колебательного контура последовательно (рис. 2а) или параллельно (рис. 2б) установлены два измерительных модуля 4 и 5. Измерительные модули 4 и 5 представляют собой сенсорные участки в виде двух эластичных цилиндров 6 и 15, в которых размещены эластичные трубки, имитирующие артерии руки человека 7 и 14 соответственно [10]. Создание пульсирующих потоков жидкости в замкнутом гидравлическом контуре осуществляется источником пульсаций давления 1, представляющим собой насос 3 и пульсатор расхода 2. Частота пульсаций обуславливается скоростью вращения ротора пульсатора расхода 2, а амплитуды – величиной расхода. Контроль давления в измерительных модулях осуществляется рабочими эталонами давления и частоты 8 и 19, представляющими собой датчики избыточного давления «МИДА» с верхним пределом измерений 40 кПа и погрешностью 0,15 % и частотомеры ЧЗ-63/1 с погрешностью $\pm 5 \cdot 10^{-7}$. Поддержание стабильных параметров давления в измерительных модулях 4 и 5 осуществляется регуляторами давления 9 и 18 соответственно, а во всей измерительной системе – регулятором 11.

Измерительный модуль 4 используется для поверки цифровых ИАД 13 с манжетами на плечо 12, измерительный модуль 5 – для поверки цифровых ИАД 17 с манжетами на запястье 16. Рассматриваемые поверочные установки позволяют за одну операцию поверки сличить в точке показания поверяемого ИАД с манжетой на плечо (P_{e1}, P_{n1}, f_1) и/или ИАД с манжетой на запястье (P_{e2}, P_{n2}, f_2) с эталонными значениями, воспроизведенными поверочными установками (P_{e0}, P_{n0}, f_0).

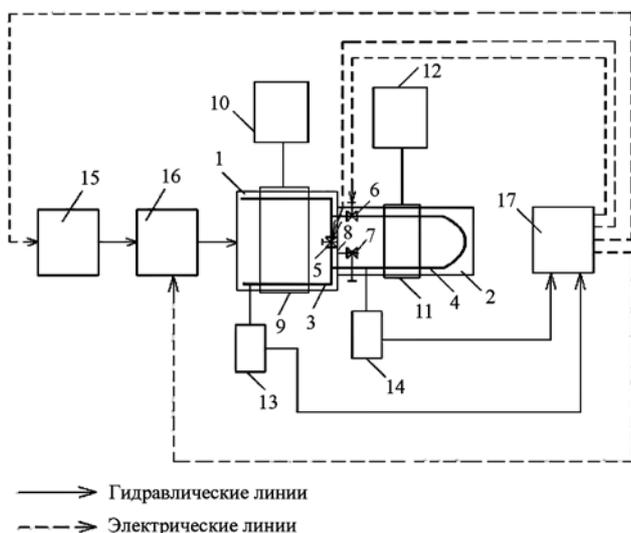


Рис. 3. Установка для поверки ИАД с применением гидравлического имитатора давления и частоты

Установка с применением гидравлического имитатора давления и частоты, представленная на рис. 3, используется для одновременной регистрации систолического и диастолического давления и частоты пульса ИАД с плечевыми и запястными манжетами.

Гидравлический имитатор давления и частоты пульса состоит из двух цилиндров 1 и 2, в которых размещены эластичные трубки 3 и 4, имитирующие соответственно артерии верхней конечности. Регулирование расхода рабочей жидкости в трубке 4 осуществляется запорно-регулирующим элементом 6.

Регулирование расхода рабочей жидкости в трубке 3 осуществляется запорно-регулирующим элементом 5. Цилиндры 1 и 2 разделены непроницаемой перегородкой 8, в которой установлен соединительный запорно-регулирующий элемент 7. Он выполняет функцию гидравлического объединения цилиндров 1 и 2, выравнивая соответствующие давления в цилиндрах 1 и 2 для более точной передачи пульсаций рабочей жидкости на компрессионные манжеты поверяемых средств измерений 10 и 12. Создание пульсирующего потока жидкости осуществляется насосом 15 и генератором переменного расхода 16, управляемыми персональным компьютером 17. Для контроля давления и частоты пульса служат рабочие эталоны давления и частоты 13 и 14, подключенные к цилиндрам 1 и 2 и передающие сигналы блоку управления 17. На цилиндр 1 надевается компрессионная манжета на плечо 9, на второй цилиндр 2 – компрессионная манжета на запястье 11.

В данном устройстве используют последовательное соединение двух измерительных модулей (участков поверки измерителей артериального давления с манжетами на плечо и на запястье), запорно-регулирующий элемент байпасного канала, а также соединительный запорно-регулирующий элемент. Все это дает возможность проводить поверку двух типов сфигмоманометров на одном и том же устройстве [10].

Расход жидкости можно регулировать, изменяя сопротивление на входе и выходе из системы трубок, моделируя тем самым течение жидкости, например в артериолах и капиллярах. Применение отрегулированных в соответствующем режиме запорно-регулирующих элементов позволяет с высокой степенью точности передать пульсации рабочей жидкости на компрессионные манжеты поверяемых средств измерений.

Значения воспроизводимости величин в конкретной точке, а также количество точек поверки измерительных приборов выбираются из соображений достоверности оценки метрологических характеристик поверяемого прибора в нормированных диапазонах измерений артериального давления и частоты пульса. Исследования метрологических характеристик показали, что относительная погрешность измерительных каналов давления и частоты соответствует погрешности третьего разряда, что не противоречит требованиям нормативных документов [3], [4]. Основные метрологические

Основные метрологические характеристики рассматриваемых установок

Основные метрологические характеристики	Поверочная установка ИАД с одним измерительным модулем (рис. 1)	Поверочная установка ИАД с последовательным расположением измерительных модулей (рис. 2а)	Поверочная установка ИАД с параллельным расположением измерительных модулей (рис. 2б)	Поверочная установка ИАД с применением гидравлического имитатора давления и частоты (рис. 3)
Диапазон измерения артериального давления	0...300 мм рт. ст., 0...40 кПа	0...300 мм рт. ст., 0...40 кПа	0...300 мм рт. ст., 0...40 кПа	0...300 мм рт. ст., 0...40 кПа
Диапазон измерения частоты сердечных сокращений	0,5...4,0 Гц, 60...240 мин ⁻¹	0,5...4,0 Гц, 60...240 мин ⁻¹	0,5...4,0 Гц, 60...240 мин ⁻¹	0,5...4,0 Гц, 60...240 мин ⁻¹
Относительная погрешность измерительного канала давления	± 0,15 % (±0,5 мм рт. ст.)	± 0,25 % (±0,8 мм рт. ст.)	± 0,15 % (±0,5 мм рт. ст.)	± 0,15 % (±0,5 мм рт. ст.)
Относительная погрешность измерительного канала частоты	± 1,5 %	± 1,5 %	± 1,5 %	± 1,5 %

характеристики установок пульсирующих потоков жидкости представлены в табл. 1.

Работа выполнена в рамках проведения научных исследований по гранту Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых № МК-6303.2010.8.

Список литературы:

1. Гогин В.А., Варгин А.А., Каратаев Р.Н. Метрологические аспекты измерений артериального давления и частоты сердечных сокращений. – Казань: Изд-во КГТУ им. А.Н. Туполева, 2003. 99 с.
2. Сойко А.И., Каратаев Р.Н. Поверочные установки измерителей артериального давления с использованием генераций пульсирующих потоков. – Казань: Изд-во «Отечество», 2009. 132 с.
3. Р 50.2.032-2004 ГСИ. Измерители артериального давления неинвазивные. Методика поверки.
4. МОЗМ R 16-2 Non-invasive automated sphygmomanometers. 2002.
5. Сойко А.И., Гогин В.А., Каратаев Р.Н., Ксенофонтова Н.М. Современное состояние вопроса применения эталонных установок для поверки средств измерений артериального давления и частоты сердечных сокращений // Законодательная и прикладная метрология. 2007. № 4. С. 65-70.
6. Каратаев Р.Н., Гогин В.А., Сойко А.И. и др. Пульсатор расхода / Патент № 2327119, РФ, МПК G01F 25/00, F15B 21/12; заявители и патентообладатели ФГУ «Татарстанский ЦСМ», КГТУ им. А.Н. Туполева. № 2006119763; заявл. 05.06.2006; опубл. 20.06.2008. Бюл. № 17.
7. Каратаев Р.Н., Гогин В.А., Сойко А.И. и др. Устройство для поверки автоматизированных сфигмоманометров / Патент № 2301030, РФ, МПК А61В 5/22, G01L 27/00; заявители и патентообладатели ФГУ «Татарстанский ЦСМ», КГТУ им. А.Н. Туполева. № 2005125025; заявл. 05.08.2005; опубл. 20.06.2007. Бюл. № 17.
8. Каратаев Р.Н., Сойко А.И. и др. Поверочное устройство для автоматизированных сфигмоманометров / Патент № 81886, РФ, МПК А61В 5/22, G01L 25/00; заявитель и патентообладатель КГТУ им. А.Н. Туполева. № 2008144562; заявл. 11.11.08; опубл. 10.04.2009. Бюл. № 10.
9. Каратаев Р.Н., Сойко А.И., Сеницын И.Н. и др. Устройство для поверки автоматизированных сфигмоманометров / Патент № 2393758 РФ, МПК А61В 5/00, А61В 5/22; заявитель и патентообладатель КГТУ им. А.Н. Туполева. № 2008144585; заявл. 11.11.08; опубл. 10.07.2010. Бюл. № 19.
10. Каратаев Р.Н., Сойко А.И., Сеницын И.Н., Галимов Ф.М. и др. Имитационная модель руки человека для поверки измерителей артериального давления и частоты сердечных сокращений / Патент № 2405423 РФ, МПК А61В 5/02, G09В 23/28, G01L 27/00; заявитель и патентообладатель КГТУ им. А.Н. Туполева. № 2009123052; заявл. 16.06.2009; опубл. 10.12.2010. Бюл. № 34.

*Робиндар Николаевич Каратаев,
д-р техн. наук, профессор,
Алексей Игорьевич Сойко,
канд. техн. наук, доцент,
Александра Игоревна Хрунина,
студентка,
Игорь Николаевич Сеницын,
аспирант,
кафедра стандартизации, сертификации
и технологического менеджмента,
Казанский государственный технический
университет им. А.Н. Туполева,
г. Казань,
e-mail: alexsoiko@rambler.ru*