

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ В КАНАЛАХ УСТАНОВКИ ПУЛЬСИРУЮЩИХ ПОТОКОВ ДЛЯ КОМПЛЕКТНОЙ ПОВЕРКИ НЕИНВАЗИВНЫХ СФИГМОМАНОМЕТРОВ

А. И. СОЙКО

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева,
Казань, Россия, e-mail: alexsoiko@rambler.ru

Рассмотрены вопросы оценки результатов измерений пульсирующих потоков жидкости разрабатываемых установок для поверки неинвазивных сфигмоманометров. Приведены результаты экспериментальных исследований точности установки для комплектной поверки указанных приборов.

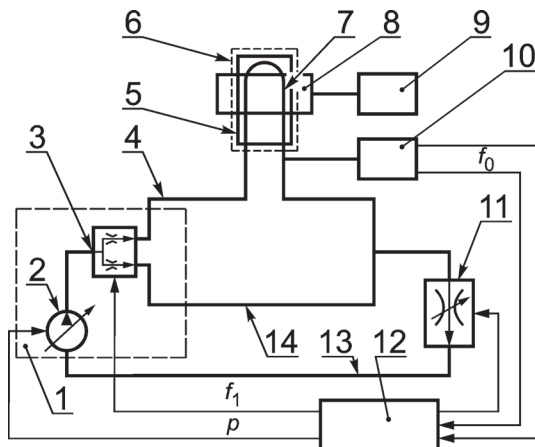
Ключевые слова: установки пульсирующих потоков, комплектная поверка, неинвазивные сфигмоманометры, неопределенность измерений.

The questions of evaluation of uncertainty of measurements at development of pulsating fluid flow systems for verification of non-invasive sphygmomanometers are considered. The results of experimental studies of accuracy of installation for complete verification of these measuring instruments are presented.

Key words: pulsating flows installation, complete verification, non-invasive sphygmomanometers, uncertainty of measurement.

Традиционные подходы, основанные на оценивании характеристик погрешностей каналов давления и частоты разрабатываемых поверочных установок неинвазивных сфигмоманометров, предназначенных для измерений артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений, были описаны в [1, 2]. Цель работы — оценка неопределенности результатов измерений (НРИ) [3] давления в каналах пульсирующих потоков указанных установок.

В качестве объекта исследования рассмотрим установку для комплектной автоматизированной поверки автоматизированных сфигмо-



Структурная схема установки для комплектной автоматизированной проверки неинвазивных сфигмоманометров:

1 — источник пульсаций давления; 2 — насос; 3 — пульсатор; 4, 13, 14 — тракты постоянного и переменного потока жидкости; 5 — цилиндр; 6 — измерительный модуль; 7 — эластичная трубка, имитирующая сосуды верхней конечности; 8 — компрессионная манжета; 9 — сфигмоманометр; 10 — рабочий эталон давления и частоты; 11 — регулятор давления; 12 — блок управления

манометров, работающую по методу генерации пульсовых колебаний в гидравлических трактах колебательного контура [4]. Установка содержит два взаимосвязанных контура, образованных гидравлическими трактами постоянного и переменного потоков, соответственно: большой контур с трактами 4, 13 и малый — с трактами 4, 14 (рисунок). Поток жидкости, поступающий от пульсатора расхода 3, распределяется в установленном соотношении по двум гидравлическим трактам переменного потока. Параметры переменного потока — давление p и частота пульсаций f_1 — задаются блоком управления 12. Пульсатор расхода 3 и насос 2 образуют источник пульсаций давления 1 [5].

Измерительный модуль 6, используемый для проверки сфигмоманометров 9, выполнен из эластичного материала в виде цилиндра 5, в котором размещена эластичная трубка 7, имитирующая сосуды верхней конечности. На цилиндр надета компрессионная манжета 8 проверяемого сфигмоманометра 9. К модулю 6 подсоединен рабочий эталон

давления и частоты 10, передающий сигналы на блок управления 12. Рабочим эталоном давления служит датчик избыточного давления МИДА-ДИ-13П с верхним пределом измерения 40 кПа и погрешностью 0,25 %; эталоном частоты — частотомер ЧЗ-63 с погрешностью $5 \cdot 10^{-7}$. Стабильное давление во всей системе поддерживается регулятором давления 11. Диапазоны измерений давления 0—40 кПа (0—300 мм рт. ст.), частоты пульса 0,5—4 Гц.

Методика экспериментального расчета НРИ давления в измерительном канале поверочной установки основана на прямых измерениях, не требующих представления измеряемой величины в виде функциональной зависимости. В этом случае НРИ можно выразить в виде суммы неопределенностей, вызванных влиянием различных факторов [6, 7]. Предположим, что все составляющие неопределенности некоррелированы.

Неопределенность измерений давления в каналах поверочной установки рассчитана исходя из следующих условий:

многократных измерений давления в каналах поверочной установки в четырех контрольных точках при закрытом положении регулятора давления 11. Принято, что результаты измерений в каждой точке распределены по нормальному закону;

стандартной неопределенности (основной погрешности) α для равномерного закона распределения:

$$u_1 = \Delta / \alpha = \gamma p_N / 100\sqrt{3},$$

где γ — класс точности датчика давления; p_N — нормирующее значение, равное верхнему пределу измерения давления;

учета температурной погрешности при известной температуре $T_{\text{изм}}$ и приведения измеряемого датчиком давления $p_{\text{изм}}$ к фактическому давлению $p_{\text{н}}$, определяемому при нормальной температуре $T_{\text{н}}$:

$$p_{\text{н}} = p_{\text{изм}} - \beta (T_{\text{изм}} - T_{\text{н}}),$$

где β — наклон зависимости $p(T)$ ($\beta < 0$), причем если $T_{\text{изм}}$ неизвестна даже приблизительно и находится в пределах $(T_{\text{max}} - T_{\text{min}})$ рабочего интервала температур, то результирующая неопределенность измерения давления составит [7]:

$$\Delta p_{\text{н}} = p_2 - p_1 = |\beta| (T_{\text{max}} - T_{\text{min}}) \text{ или } u_t = \Delta p_{\text{н}} / \sqrt{3}; \quad (1)$$

вычисления неопределенности для погрешности дискретности отсчета

$$u_0 = \Delta_0 / \sqrt{3}, \quad (2)$$

где Δ_0 — предел измерений, для которого границы дискретности отсчета составляют единицы младшего разряда.

Коэффициенты чувствительности при прямых измерениях для всех составляющих погрешности равны 1.

Результаты исследований. Проведем оценку НРИ АД в каналах поверочной установки с учетом перечисленных условий. Средние арифметические значения давления в четырех контрольных точках,

рассчитанные по формуле $\bar{p} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i$, составили 13,333; 20,000; 26,667;

33,333 кПа (100, 150, 200, 250 мм рт. ст.).

Стандартное отклонение результатов наблюдений

$$S(p) = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \right]^{1/2}.$$

Стандартное отклонение, характеризующее случайную составляющую погрешности при измерении давления $S(\bar{p})$ — неопределенность по типу А:

$$u_A = S(\bar{p}) = \left[\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 \right]^{1/2}.$$

Составляющие суммарной стандартной неопределенности по типу В погрешностей датчика давления оценим с учетом неопределенностей, обусловленных отклонением температуры от нормальной, и дискретностью отсчета по (1), (2). В этом случае стандартную неопределенность по типу В можно записать в виде

$$u_B = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2} = \sqrt{u_t^2 + u_0^2}.$$

Суммарную неопределенность давления в измерительном канале поверочной установки определим как

$$u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} = \sqrt{S^2(\bar{p}) + u_t^2 + u_o^2}.$$

Бюджет неопределенности в четырех контрольных точках, включающий все составляющие погрешности результатов измерений давления, представлен в таблице.

Результаты оценки неопределенности измерений давления на входе измерительного канала поверочной установки

Входная величина	Оценка входной величины, Па	Неопределенность		Число степеней свободы	Распределение вероятности
		обозначение	значение, Па		
$\bar{p}_1$	13425	u_A	11	289	Нормальное
$\bar{p}_2$	19716	u_A	9	289	То же
$\bar{p}_3$	26984	u_A	11	289	»
$\bar{p}_4$	33712	u_A	11	289	»
Температурная погрешность	—	u_t	12	∞	Равномерное
Погрешность отсчета	—	u_o	15	∞	То же

Расширенная неопределенность для уровня доверия $P = 0,95$ в этом случае $U = ku_c$, где k — коэффициент охвата (коэффициент Стьюдента), который с учетом эффективного числа степеней свободы $\nu_{\text{эфф}} = (n - 1)(u_c/u_A)^4$, равного 4745, составляет 1,96, т. е. $U = 41$ Па.

Из полученных результатов следует, что расширенная НРИ АД (доверительные границы погрешности) в гидравлических каналах поверочной установки при закрытом положении регулятора давления составляет 41 Па, а относительная расширенная НРИ давления

$U/|\bar{p}_i|$ варьируется в диапазоне 0,1—0,3 %, что соответствует требованиям, предъявляемым к поверочным установкам неинвазивных сфигмоманометров.

Предварительные расчеты НРИ частоты сердечных сокращений показали, что ее систематические и случайные составляющие погрешности крайне малы и в данной работе не рассмотрены.

Таким образом, проведенные экспериментальные исследования показали, что точность установки для поверки неинвазивных сфигмоманометров соответствует требованиям международных и национальных документов в данной области измерений [8, 9].

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. **Сойко А. И.** Анализ точности измерений установок для поверки измерителей артериального давления и частоты пульса // Медицинская техника. 2011. № 3. С. 27—33.

2. **Сойко А. И., Каратаев Р. Н.** Поверочные установки измерителей артериального давления с использованием генераций пульсирующих потоков. Казань: Отечество, 2009.

3. **ГОСТ Р 54500.1—2011.** (Руководство ИСО/МЭК 98.1:2009) Неопределенность измерения. Часть 1. Введение руководства по неопределенности измерения.

4. **Пат. 2301020 РФ.** Устройство для поверки автоматизированных сфигмоманометров / Р. Н. Каратаев и др. // Изобретения. Полезные модели. 2007. № 17.

5. **Пат. 2318190 РФ.** Генератор переменного расхода жидкости (варианты) / Р. Н. Каратаев и др. // Изобретения. Полезные модели. 2008. № 6.

6. **Походун А. И.** Экспериментальные методы исследований. Погрешности и неопределенности измерений: Учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2006.

7. **Стучебников В. М.** О нормировании температурной погрешности тензорезисторных полупроводниковых датчиков // Датчики и системы. 2004. № 9. С. 15—19.

8. **МР 16-2 МОЗМ.** Манометры для измерений артериального давления автоматические.

9. **Р 50.2.032—2004.** ГСИ. Измерители артериального давления неинвазивные. Методика поверки.

Дата принятия 13.10.2013 г.

