

СПИРОМЕТРИЯ. ЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Е.И. Сокол, А.В. Кипенский, Р.С. Томашевский, Е.И. Король, Ю.Н. Гура
Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
Кафедра «Промышленная и биомедицинская электроника», лаборатория биомедицинской электроники
НТУ «ХПИ», ул. Фрунзе 21, г. Харьков, 61002, Украина
Тел.: (057) 70-76-237, 70-76-937, E-mail: Derenko@kpi.kharkov.ua
А.П. Верещак, С.В. Литвиненко
ОАО «АО Научно-исследовательский институт радиотехнических измерений»
ОАО «АО НИИРИ», ул. Академика Павлова 271, г. Харьков, 61054, Украина
Тел.: (057) 738-05-28, 717-28-79
В.С. Крутько, П.П. Потейко, Т.В. Сокол
Харьковская медицинская академия последипломного образования
Кафедра фтизиатрии и пульмонологии
Проспект Московский, 197, г. Харьков, 61037, Украина
Тел.: 738-71-87

Annotation – In this paper described many types of hand-held office spirometers. Different methods of volume measurement are compared. Finally conception of new spirometer develop is presented.

Key words – spirometry, pulmonary function, flow–volume loop, hand-held office spirometers

ВВЕДЕНИЕ

Проблема заболеваемости органов дыхания стоит на Украине очень остро. Академик АМН Украины, директор Национального института фтизиатрии и пульмонологии им. Ф. Г. Яновского Юрий Иванович Фещенко отметил, что за последние годы распространенность заболеваний органов дыхания возросла (в 2002 г. – 23760,6 случаев, в 2003 г. – 25052,9 на 100000 населения). В комплексной диагностике таких заболеваний основной составной частью является спирометрическое обследование [1].

Спирометрия является наиболее эффективным методом оценки лёгочной функции. Суть метода состоит в том, что пациент выполняет определенные дыхательные тесты. При этом производится измерение объемной скорости воздушного потока (расход) и определяются объемы воздуха на разных этапах выполнения дыхательного теста. Наиболее клинически значимые сведения дает анализ экспираторного маневра (выдоха) [2].

В настоящее время с помощью спирометрии определяются до 50 показателей вентиляционной функции легких, хотя для постановки диагноза в большинстве случаев достаточно 10 основных. К ним относятся:

- жизненная емкость легких (ЖЕЛ);
- форсированная жизненная функция легких (ФЖЕЛ);
- пиковая объемная скорость (ПОС);
- мгновенная объемная скорость после выдоха 25 % ФЖЕЛ (МОС 25);
- мгновенная объемная скорость после выдоха 50 % ФЖЕЛ (МОС 50);
- мгновенная объемная скорость после выдоха 75 % ФЖЕЛ (МОС75);
- средняя объемная скорость в интервале между 25 % и 75 % ФЖЕЛ (СОС 25-75);
- объем форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1);
- индекс Тиффно (ОФВ1/ЖЕЛ);

- индекс Генслера (ОФВ1/ФЖЕЛ).

Все эти показатели могут быть определены из графика, который принято называть петлей «поток-объем» (см. рис. 1) [3]. На графике по оси абсцисс откладывается объем воздуха, а по оси ординат – его объемная скорость. Причем объемная скорость при выдохе условно принимается за положительную, а при вдохе – за отрицательную.

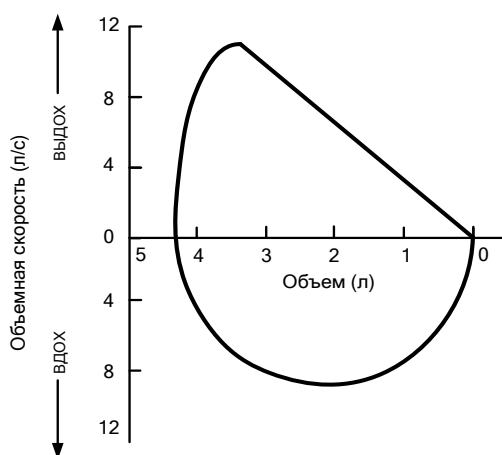


Рис. 1. Петля «поток-объем»

Клиническая оценка вентиляционной функции легких основывается на сопоставлении результатов правильно выполненного пациентом дыхательного теста с должными величинами. Должные величины характеризуют нормальные для данного человека показатели, с учетом его пола, возраста и роста (иногда учитывают вес и расу). На основе статистических исследований в мире были разработаны несколько систем должных величин. В нашей стране наиболее применяемыми являются системы должных величин Р.Ф.Клемента [4] и Knudson.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для исследований функции внешнего дыхания (ФВД) применяются специальные приборы, называемые спирометрами [5]. Они различаются как по функциональным возможностям, так и по ценовому показателю. Так, например, для детальных исследований ФВД используются специализированные компьютерные спирометрические комплексы. Такие исследования выполняются только в кабинете функциональной диагностики и требуют специальной подготовки персонала. В среднем исследование на компьютерном спирометрическом комплексе занимает 25-30 мин (с учетом подготовки комплекса).

Для массовых (скрининговых) спирометрических обследований населения, которые должны проводиться в каждой районной поликлинике, в медпунктах на предприятиях, а при необходимости и на дому у пациентов, наиболее целесообразно использовать переносные (настольные) или портативные (ручные) приборы. Такие приборы должны обеспечивать минимум временных затрат на тестирование, простоту спирометрического исследования, удобство хранения и переноски, легкость стерилизации.

В Украине на сегодняшний день портативные приборы для скрининговых спирометрических исследований не производятся, а недостаточное финансирование лечебно-профилактических учреждений делает проблематичным приобретение импортных приборов такого назначения [6].

В связи с изложенным выше, можно сделать вывод о том, что разработка портативных приборов для спирометрических исследований является в Украине актуальной задачей.

Цель данной работы состоит в создании концепции построения отечественного портативного прибора для исследования ФВД с учетом тенденций, сложившихся в мировой практике спирометрии на сегодняшний день.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПИРОМЕТРОВ

В настоящее время на рынке Украины представлено несколько портативных приборов производства таких зарубежных фирм, как Micro Medical LTD (Англия), Medical International Research (Италия) и SCHILLER (Швейцария).

В качестве аналога при разработке концепции отечественного прибора было принято решение выбрать такой прибор, который обладает наивысшим качеством.

Под качеством изделий медицинской техники принято понимать некоторую совокупность характеристик и показателей, которые могут быть названы «качественными» [7]. Применительно к спирометрическим приборам «качественными» показателями будут являться диапазоны измеряемых расходов и объемов, погрешность измерений, количество определяемых показателей внешнего дыхания, массогабаритные показатели, а также дополнительные функциональные возможности. В табл. 1 сведены те из указанных показателей качества, которые были определены для всех рассматриваемых приборов из доступных источников информации (официальные сайты фирм-производителей) [8-10].

Выполнение сопоставительного анализа порта-

тивных приборов для исследования ФВД предлагается проводить путем вычисления значения функционала, который может быть назван относительным показателем качества, поскольку при его определении будут учитываться и стоимостные показатели [11]. При этом в числитель функционала записывается произведение коэффициентов, увеличение которых соответствует повышению качества прибора, а в знаменатель – произведение коэффициентов, увеличение которых соответствует снижению его качества:

$$F_i = \frac{K_{ДСi} K_{ДОi} K_{ПИ} K_{Фi} K_{ДФi}}{K_{ПСi} K_{ПОi} K_{ГРi} K_{Ми} K_{Сi}}, \quad (1)$$

где $K_{ДСi}$ – коэффициент диапазона измеряемой объемной скорости i -го прибора;

$K_{ДОi}$ – коэффициент диапазона измеряемого объема i -го прибора;

$K_{ПИ}$ – коэффициент измеряемых параметров внешнего дыхания i -го прибора, учитывающий их количество;

$K_{Фi}$ – коэффициент функциональности i -го прибора, учитывающий количество функциональных возможностей, упрощающих проведение исследования;

$K_{ДФi}$ – коэффициент дополнительных измерений i -го прибора, учитывающий их количество;

$K_{ПСi}$ – коэффициент погрешности измерения объемной скорости i -го прибора;

$K_{ПОi}$ – коэффициент погрешности измерения объема i -го прибора;

$K_{ГРi}$ – коэффициент габаритных размеров i -го прибора;

$K_{Ми}$ – коэффициент массы i -го прибора;

$K_{Сi}$ – коэффициент стоимости i -го прибора.

Далее представим выражения для определения каждого из перечисленных выше коэффициентов.

Коэффициент диапазона измеряемой объемной скорости вычисляется по выражению:

$$K_{ДСi} = 1 + \frac{Q_{МАXi} - Q_{МИNi}}{Q_{МАX} - Q_{МИN}}, \quad (2)$$

где $Q_{МАXi}$ и $Q_{МИNi}$ – верхнее и нижнее значение диапазона измеряемой объемной скорости i -го прибора;

$Q_{МАX}$ и $Q_{МИN}$ – верхнее и нижнее значение диапазона измеряемой объемной скорости прибора с наибольшим значением диапазона (± 16 л/с у приборов фирмы MIR, Италия, см. табл. 1).

Коэффициент диапазона измеряемого объема вычисляется по выражению:

$$K_{ДОi} = 1 + \frac{V_{МАXi} - V_{МИNi}}{V_{МАX} - V_{МИN}}, \quad (3)$$

где $V_{МАXi}$ и $V_{МИNi}$ – верхнее и нижнее значение диапазона измеряемого объема i -го прибора;

Таблица 1

Название	Диапазон измерения расхода, л/с	Диапазон измерения объема, л	Погрешность измерения	Количество показателей внешнего дыхания	Массогабаритные показатели прибора	Дополнительные функции и особенности прибора	Цена, грн.
Micro Spirometer, Micro Medical LTD (Англия)	0,2–15	0,1–9,99	Объема – 3% Скорости потока – 3%	2	Размер: 170х60х26мм; Масса: 190г	–	2444
MicroPlus Spirometer, Micro Medical LTD (Англия)	0,2–15	0,1–9,99	Объема – 3% Скорости потока – 3%	7	Размер: 170х60х26мм; Масса: 190г	1 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232	3744
Micro DL Micro Medical LTD (Англия)	0,2–15	0,1–9,99	Объема – 3% Скорости потока – 3%	8	Размер: 170х60х26мм; Масса: 190г	1 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232. 2 Сохранение результатов в память. 3 Сравнение с должными величинами	8268
MicroGP Micro Medical LTD (Англия)	0,2–15	0,1–9,99	Объема – 3% Скорости потока – 3%	8	Размер: 170х60х26мм; Масса: 190г	1 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232. 2 Сравнение с должными величинами	5148
Spirodoc, MIR (Италия)	±16	0,1–10	Объема – 3% Скорости потока – 5%	6	Размер: 70х80х30мм; Масса: 100г	1 Двухнаправленный датчик. 2 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232. 3 Сравнение с должными величинами. Доп. измерения – длительная запись оксиметрии, частота сердечных сокращений	3725
Spirobank, MIR (Италия)	±16	0,1–10	Объема – 3% Скорости потока – 5%	26	Размер: 162х49х34мм; Масса: 180г	1 Двухнаправленный датчик. 2 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232 и USB. 3 Сохранение результатов в память. 4 Сравнение с должными величинами. Доп. измерения – температура окружающей среды	7495
Spirobank II, MIR (Италия)	±16	0,1–10	Объема – 3% Скорости потока – 5%	26	Размер: 145х60х30мм; Масса: 180г	1 Двухнаправленный датчик. 2 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232 и USB. 3 Сравнение с должными величинами. 4 Сохранение результатов в память. 5 Графический жидкокристаллический дисплей. Доп. измерения – температура окружающей среды, длительная запись оксиметрии, частота сердечных сокращений	11350
Spirobank G, MIR (Италия)	±16	0,1–10	Объема – 3% Скорости потока – 5%	26	Размер: 162х49х34мм; Масса: 180г	1 Двухнаправленный датчик. 2 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232 и USB. 3 Сравнение с должными величинами. 4 Сохранение результатов в память. 5 Графический жидкокристаллический дисплей. Доп. измерения – температура окружающей среды	8350
Spirovit SP-2, SCHILLER (Швейцария)	±14	0,1–11	Объема – 2% Скорости потока – 2%	18	Размер: 190х85х27мм; Масса: 275г	1 Двухнаправленный датчик. 2 Связь с ПК или принтером по протоколу RS232. 3 Сравнение с должными величинами. 4 Сохранение результатов в память	16424

V_{MAX} и V_{MIN} – верхнее и нижнее значение диапазона измеряемого объема прибора с наибольшим значением диапазона (11 и 0,1 л у прибора фирмы SCHILLER, Швейцария, см. табл. 1).

Коэффициент измеряемых параметров внешнего дыхания вычисляется по выражению:

$$K_{Pi} = 1 + \frac{N_{Pi}}{N_{II}}, \quad (4)$$

где N_{Pi} – количество измеряемых показателей внешнего дыхания i -го прибора;

N_{II} – количество измеряемых показателей внешнего дыхания у прибора с их наибольшим значением (26 у ряда приборов фирмы MIR, Италия, см. табл. 1).

Коэффициент функциональности вычисляется по выражению:

$$K_{\Phi i} = 1 + \frac{N_{\Phi i}}{N_{\Phi}}, \quad (5)$$

где $N_{\Phi i}$ – количество функций i -го прибора, облегчающих процесс исследования;

N_{Φ} – количество функций у прибора с их наибольшим значением.

Этот коэффициент учитывает возможность сохранения результатов в памяти прибора и передачи их на компьютер или принтер, сравнения полученных параметров дыхательной системы с должными величинами по одной или нескольким системам стандартов, наличие графического дисплея и возможность измерения параметров вдоха и выдоха. Наибольшее значение этого коэффициента имеют приборы Spirobank II и Spirobank G фирмы MIR, Италия (см. табл. 1).

Коэффициент дополнительных функций вычисляется по выражению:

$$K_{D\Phi i} = 1 + \frac{N_{D\Phi i}}{N_{D\Phi}}, \quad (6)$$

где $N_{D\Phi i}$ – количество дополнительных измерений i -го прибора;

$N_{D\Phi}$ – количество дополнительных функций у прибора с их наибольшим значением.

Этот коэффициент не является определяющим, поскольку приборы оцениваются в первую очередь как спирометры. Тем не менее, наибольшее значение этого коэффициента имеет прибор Spirobank II фирмы MIR, Италия, поскольку позволяет измерять температуру окружающей среды, частоту сердечных сокращений и обеспечивает длительную запись оксиметрии (табл. 1).

Коэффициент погрешности измерения объемной скорости вычисляется по выражению:

$$K_{Pi} = 1 + \frac{\delta_{Qi}}{\delta_Q}, \quad (7)$$

где δ_{Qi} – погрешность измерения объемной скорости i -го прибора;

δ_Q – максимальное значение погрешности измерения объемной скорости, которое у приборов фирмы

MIR, Италия достигает 5 % (см. табл. 1).

Коэффициент погрешности измерения объема вычисляется по выражению:

$$K_{Vi} = 1 + \frac{\delta_{Vi}}{\delta_V}, \quad (8)$$

где δ_{Vi} – погрешность измерения объема i -го прибора;

δ_V – максимальное значение погрешности измерения объема, которое практически у всех приборов составляет 3 % (см. табл. 1).

Коэффициент габаритных размеров вычисляется по выражению:

$$K_{GPi} = 1 + \frac{l_i * w_i * h_i}{l * w * h}, \quad (9)$$

где l_i , w_i , h_i – длина, ширина и высота i -го прибора;

l , w , h – размеры прибора с наибольшими габаритами (436,05 см³ у прибора фирмы SCHILLER, Швейцария, см. табл. 1).

Коэффициент массы вычисляется по выражению:

$$K_{Mi} = 1 + \frac{m_i}{m}, \quad (10)$$

где m_i – масса i -го прибора;

m – масса самого тяжелого прибора (275 г у прибора фирмы SCHILLER, Швейцария, см. табл. 1).

Коэффициент стоимости вычисляется по выражению:

$$K_{Ci} = 1 + \frac{C_i}{C}, \quad (11)$$

где C_i – стоимость i -го прибора;

C – стоимость самого дорогого прибора (16424 грн. у прибора фирмы SCHILLER, Швейцария, см. табл. 1).

Результаты расчета относительного показателя качества портативных спирометров представлены в виде столбчатой диаграммы на рис. 2. Из рисунка видно, что наиболее высоким значением этого показателя обладают спирометры Spirobank и Spirobank II фирмы MIR, Италия.

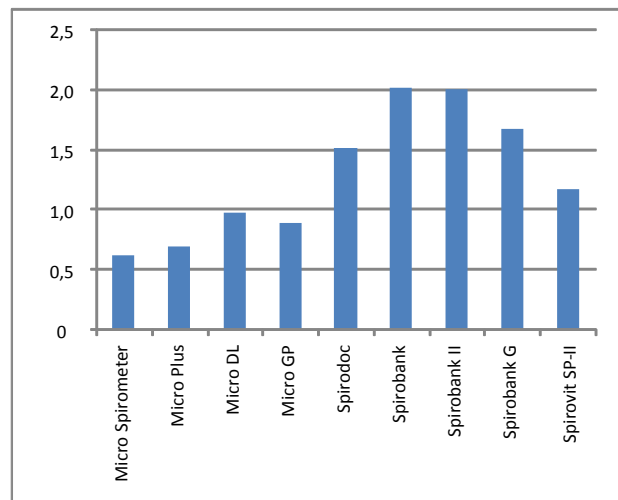


Рис. 2. Относительный показатель качества портативных спирометров

Следует учитывать, что предложенный метод оценки качества спирометров не претендует на роль универсального. Однако он вполне позволяет сравнить портативные приборы по критерию «качество/цена» с учетом известных показателей качества. Очевидно, что чем больше таких показателей качества будет принято во внимание при анализе, тем объективнее будет и оценка.

Таким образом, в качестве аналогов при разработке концепции отечественного портативного спирометра были выбраны приборы Spirobank и Spirobank II фирмы MIR, Италия, технические данные которых в дальнейшем будут приниматься за базовые.

ВЫБОР ДАТЧИКА ДЛЯ ПОРТАТИВНОГО СПИРОМЕТРА

От датчика зависят масса и размеры портативного прибора, а также его точность и устойчивость к воздействиям, в том числе и к санитарной обработке. При этом следует иметь в виду, что использование бактерицидных фильтров упрощает санитарную обработку, однако вносит дополнительное сопротивление в измерительный канал, снижая тем самым точность прибора.

К основным техническим параметрам датчиков расхода относят: чувствительность, погрешность измерения, линейность характеристики, величину пневматического сопротивления, быстродействие и надежность, возможность определения направления потока [12].

Наиболее часто в спирометрической аппаратуре (как стационарной, так и портативной) применяются датчики переменного перепада давления (рис. 3.), основанные на методе дифференциального манометра. К датчикам этого типа относятся трубки Флейша и Лилли. Основными составными частями датчика является пневматический резистивный элемент 1 (набор трубок, сетка), обладающий некоторым сопротивлением, и дифференциальный манометр, состоящий из двух датчиков давления 2 и 4 или одного дифференциального датчика давления. При прохождении потока воздуха через резистивный элемент на нем возникает перепад давления, который и фиксируется дифференциальным манометром. Разница давлений тем больше, чем выше расход (при постоянном сопротивлении потоку).

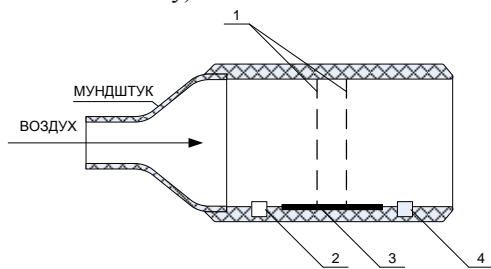


Рис. 3. Датчик переменного перепада давления

Проблемой при использовании таких датчиков является конденсация влаги на резистивном элементе. Для предотвращения этого датчик подогревают с помощью нагревательного элемента 3 (см. рис. 3) до температуры 35–40 °С. Это, в свою очередь, приводит к необходимости дополнительного расхода энергии, что нежелательно в портативном приборе. Кроме то-

го, задержка с момента включения до возможности проводить исследование составляет 10–15 минут.

Частая санитарная обработка или попадание слизи на резистивный элемент приводит к существенному снижению надежности датчика, а нелинейность его передаточной характеристики затрудняет обработку результатов измерений.

В настоящее время, в связи с появлением электрических датчиков давления с высокой чувствительностью, удается снизить значение пневматического сопротивления измерительного канала.

К достоинствам датчиков переменного перепада давления следует отнести высокую чувствительность и быстродействие, низкую погрешность измерения и возможность определения направления потока воздуха.

Чуть реже в спирометрах используются турбинные измерители объемной скорости, в которых поток воздуха приводит к вращению подвижного элемента (тахометрический метод измерения расхода). Различают оптические и индуктивные турбинные датчики. На рис. 4 представлен оптический турбинный датчик, который состоит из следующих элементов: направляющие крыльчатки 1 для придания воздушному потоку вращательного движения, фотоизлучатель 2, вращающаяся пластина 3 и фотоприемник 4. Преобразование потока воздуха в последовательность электрических импульсов производится путем модуляции с помощью вращающейся пластины электромагнитного излучения инфракрасного диапазона, поступающего от фотоизлучателя к фотоприемнику. Частота вращения пластины пропорциональна скорости потока воздуха, а число оборотов – его объему.

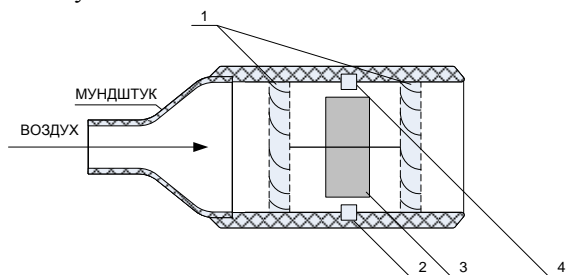


Рис. 4. Датчик турбинного типа

Недостатками турбинных датчиков является их низкое быстродействие и сложность санитарной обработки, поскольку механическое воздействие на крыльчатки и пластину может привести к их повреждению, что снижает надежность датчика.

К достоинствам этого типа датчиков следует отнести: линейность передаточной характеристики, хорошие массогабаритные показатели, высокую точность измерений и возможность определения направления потока воздуха. Современные модели промышленно-выпускаемых датчиков обладают низким пневматическим сопротивлением и достаточно высокой чувствительностью.

Еще реже в спирометрии применяются термокондуктометрические датчики. Принцип их работы, основан на эффекте изменения электрического сопротивления нагретого терморезистора, охлаждаемого воздушным потоком.

Термокондуктометрический датчик изображен на рис. 5, где 1 – терморезистор, 2 – нагревательный элемент.

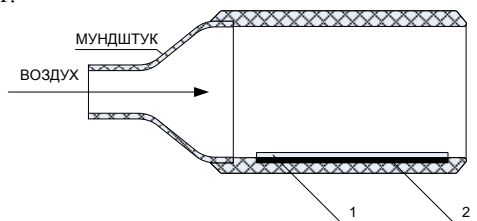


Рис. 5. Термокондуктометрический датчик

Степень охлаждения терморезистора зависит от скорости и температуры проходящего воздуха. Недостатками термокондуктометрического датчика являются нелинейность передаточной характеристики, высокая инерционность, низкая чувствительность и точность, отсутствие возможности определения направления потока воздуха. Кроме того, материал терморезистора крайне неустойчив к санитарной обработке и механическим повреждениям, а, следовательно, датчик имеет невысокую надежность.

К преимуществам этого типа датчиков следует отнести крайне малое сопротивление потоку воздуха.

В настоящее время делаются попытки использования в портативных спирометрах ультразвуковых датчиков. В основе работы этих датчиков лежит эффект Доплера, а в качестве излучателей и приемников ультразвука используются пьезокерамические кольца 1, расположенные перпендикулярно измерительному каналу на некотором расстоянии друг от друга (см. рис. 6).

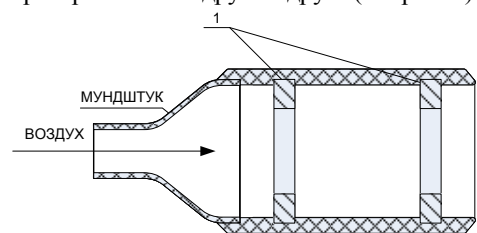


Рис. 6. Ультразвуковой датчик

Основным недостатком ультразвуковых датчиков является низкая точность и чувствительность, особенно на малых расходах. Также такие датчики обладают нелинейной передаточной характеристикой. Преимуществами являются отличные динамические характеристики и малое сопротивление потоку. Кроме того, данный тип датчика обеспечивает простоту дезинфекции и санитарной обработки и возможность определения направления потока воздуха.

Сравнивая достоинства и недостатки рассмотренных датчиков для измерения расхода можно сделать следующий вывод: в отечественном портативном приборе наиболее целесообразно использовать тахометрический метод и применить датчик турбинного типа. Такой датчик имеет линейную передаточную характеристику, довольно низкое пневматическое сопротивление и высокую точность, хорошие массогабаритные показатели. Кроме того, данный тип датчика позволяет проводить измерения, как на вдохе, так и на выдохе. Программно-математическая коррекция результатов измерения позволяет учесть влияние инерционности, а использование одноразовых сменных турбин исключает

передачу инфекции от больного пациента здоровому. В заключение здесь следует отметить, что во всех рассмотренных портативных спирометрах (см. табл. 1) используются именно датчики турбинного типа.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволили сформулировать основные положения концепции построения отечественного портативного прибора для тестирования функции внешнего дыхания:

- в приборе должна быть предусмотрена возможность измерения и вычисления основных показателей функции внешнего дыхания, сравнения их с должными величинами и хранения;
- в качестве первичного преобразователя потока воздуха в электрический сигнал наиболее целесообразно использовать турбинный датчик с оптическим устройством съема информации;
- погрешность измерений прибора не должна превышать 3 %, что соответствует требованиям стандарта ATS (Американского Торакального Общества);
- прибор должен быть удобен как для скрининговых исследований, так и для индивидуального использования, его массогабаритные показатели должны обеспечивать удобство хранения и переноски;
- прибор должен иметь возможность подключения к персональному компьютеру, для более детального анализа и протоколирования результатов тестов.

[1] <http://www.ifp.kiev.ua>.

[2] Старшов А.М., Смирнов И.В. Спирография для профессионалов. – М.: «Познавательная книга пресс», 2003. – 77 с.

[3] Гриппи М. Патофизиология легких: Пер. с англ. – М: БИНОМ, 1997. – 327 с.

[4] Клемент Р.Ф., Зильберт Н.А. Функционально-диагностические исследования в пульмонологии: Методические рекомендации. – СПб, 1993. – 47 с.

[5] Сахно Ю.Ф., Дроздов Д.В., Ярцев С.С. Исследование вентилиционной функции легких. М.: Издательство РУДН, 2005. – 83 с.

[6] Сокол Е.И., Кипенский А.В., Верещак В.А. Проблемы технического обеспечения системы здравоохранения Украины и перспективы их решения // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – К.: ІЕД НАНУ, 2006. Ч. 1. С. 116-122.

[7] Кипенский А.В. Обеспечение качества изделий медицинской техники средствами микропроцессорного импульсного управления // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Тематический выпуск «Автоматика и приборостроение». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. № 38. – С. 59-63.

[8] <http://www.spirometry.com>.

[9] <http://www.micromedical.ru>.

[10] <http://www.egeneralmedical.com>.

[11] Сокол Е.И., Кипенский А.В., Верещак В.А. Анализ показателей качества аппаратов для амплипульс-терапии. // Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силовa електроніка та енергоефективність». – К.: ІЕД НАНУ, 2006. Ч. 3. С. 123-130.

[12] Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. – М.: Машиностроение, 1989. – 702 с.