

Е.И. СОКОЛ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»
А.В. КИПЕНСКИЙ, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»
Е.И. КОРОЛЬ, канд. техн. наук, доц., НТУ «ХПИ»
Р.С. ТОМАШЕВСКИЙ, аспирант, НТУ «ХПИ»
М.А. ЛЕСОВАЯ, канд. мед. наук, проф., НТУ «ХПИ»

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА СОВРЕМЕННОГО СПИРОМЕТРА И ПУТИ ЕЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

У статті наведений опис вимірювальної спірометричної системи та процесу перетворювання швидкості потоку повітря у частоту електричних імпульсів. У ході роботи запропоновані й обґрунтовані способи поліпшення метрологічних показників вимірювальних систем на турбінному перетворювачі потоку.

In this paper described the measuring spirometry system and the method of air flow converting into frequency of electric pulses. In article the improvement metrological index ways are proposed and grounded.

Спирометрия (флоуспирометрия), на сегодняшний день, является наиболее информативным и наименее трудоемким методом оценки функции внешнего дыхания (ФВД). Этот метод используется в медицинской практике, как для проведения профилактических осмотров, так и для сложных функциональных исследований органов дыхания [1].

Для преобразования скорости потока в электрический сигнал в спирометрической аппаратуре наиболее часто применяется турбинный преобразователь с оптическим устройством съема информации. Его основные достоинства – линейность передаточной характеристики, хорошие массогабаритные показатели, высокая точность измерений [2, 3].

Постоянное развитие метода и расширение областей применения неизменно повышает требования к его техническому обеспечению. Эти требования касаются как метрологических параметров, так и функциональных возможностей [4].

Одним из метрологических параметров является чувствительность. Повышение чувствительности спирометрической аппаратуры особенно актуально в педиатрии, при измерении малых расходов, при патологических изменениях ФВД, а также при измерениях на конечных стадиях выдоха (вдоха). Для спирометров этот параметр нормируется стандартами ATS и ECCS. В стандарте ATS 1995 г. регламентирован порог чувствительности 0,1 л/с, а в стандарте ECCS 1993 г. – 0,05 л/с.

Не менее важным параметром является полоса частот измеряемого сигнала. По данным некоторых авторов [5] верхний предел частот диапазона полезного сигнала составляет от 4 до 30 Гц. Неравномерность АЧХ спирометров регламентирован стандартами следующим образом: ATS 1995 г. – от 0 до 4 Гц, не более 10 %, а ECCS 1993 г. – от 0 до 20 Гц, не более 5 %.

Серийно выпускаемые спирометры с измерительной системой (ИС) на турбинном преобразователе потока (ТПП) не всегда удовлетворяют указанным выше требованиям

[3, 4]. Кроме того, с учетом перспективности спирометрии возможно повышение требований к спирометрической аппаратуре.

Таким образом при разработке спирометрической аппаратуры необходимо искать новые технические решения или совершенствовать уже известные. Прежде всего, это касается измерительной системы, поскольку она определяет как метрологические показатели прибора, так и его функциональные возможности [5].

Целью данной работы является определение способов улучшения метрологических параметров измерительных систем на ТПП.

В общем случае ТПП представляет собой устройство, которое преобразует поток воздуха, во вращение ротора, а затем, в электрический выходной сигнал. Информационным параметром этого сигнала, соответствующим скорости потока, может быть амплитуда, частота или фазовый сдвиг [6].

Структурная схема измерительной системы с ТПП, которая используется в современных спирометрах, приведена на рис. 1.

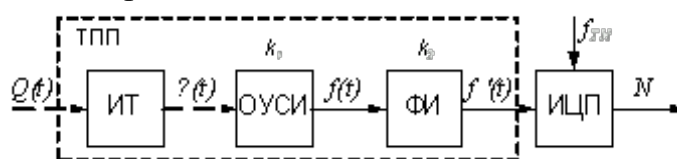


Рисунок 1. Структурная схема измерительной системы на ТПП

Измерительная турбина (ИТ), конструкция которой показана на рис. 2, в данной системе используется в качестве первичного преобразователя воздушного потока.

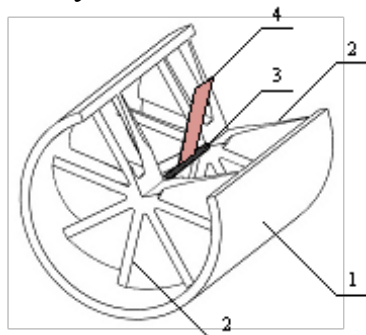


Рисунок 2. Конструкция измерительной турбины (с радиальным вырезом 1/4)

ИТ представляет собой полый цилиндр (1), изготовленный из органического стекла. Газовому потоку с помощью направляющих крыльчаток (2) придается вращательное движение. На пути газового потока на оси (3) расположена плоская пластина (4). Движение газового потока вызывает вращение пластины со скоростью пропорциональной скорости движения этого потока. Таким образом, ИТ преобразует объемную скорость воздуха $Q(t)$ в угловую скорость пластины $\omega(t)$. Вторичный измерительный преобразователь (см. рис. 1) представляет собой оптическое устройство съема информации (ОУСИ), которое преобразует вращение пластины в электрический сигнал с частотой $f(t)$, пропорциональной $\omega(t)$

$$f(t) = \frac{\omega(t) \cdot k_1}{2 \cdot \pi}, \quad (1)$$

где k_1 – коэффициент передачи ОУСИ, обычно равен 2.

Формирователь импульсов (ФИ) (см. рис. 1) преобразует электрический сигнал с выхода ОУСИ в последовательность коротких прямоугольных импульсов с частотой $f'(t)$ равной

$$f'(t) = f(t) \cdot k_2, \quad (2)$$

где k_2 – коэффициент передачи ФИ, обычно равен 1.

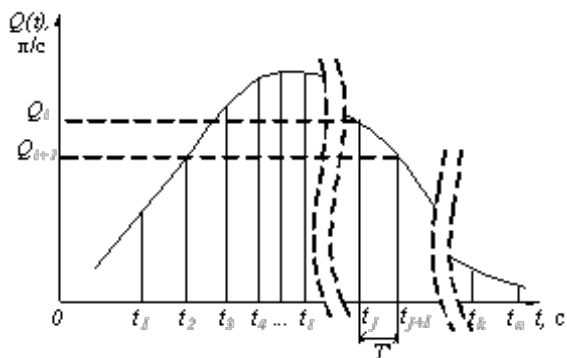
Преобразование частоты $f'(t)$ в цифровой код N осуществляется с помощью импульсно-цифрового преобразователя (ИЦП) с частотно-импульсным законом преобразования классическим методом последовательного счета [7]. Данный метод позво-

ляет осуществлять преобразование в цифровой код текущего значения частоты при достаточно низкой погрешности преобразования.

Преобразования объемной скорости потока $Q(t)$ в импульсный электрический сигнал с помощью ТПП могут быть рассмотрены как процесс дискретизации непрерывного сигнала с переменным шагом дискретизации $T'(t)$ (см рис. 3)

$$T'(t) = 1 / f'(t). \quad (3)$$

Таким образом, частота $f'(t)$ в измерительной системе, приведенной на рис. 1, является частотой дискретизации.



В процессе спирометрического исследования предполагается определение не только скоростей, но и объемов воздуха на различных этапах выдоха (вдоха). При этом объем воздуха, прошедший через ИТ, может быть вычислен по выражению

$$V(t) = \int_{t_i}^{t_k} Q(t) dt, \quad (4)$$

Рисунок 3. К пояснению принципа работы турбинного преобразователя потока

где t_i и t_k – моменты времени,

соответствующие началу и окончанию временного интервала, на котором производится измерение.

Для определения объемов на различных этапах дыхательного теста обычно суммируют элементарные объемы на соответствующих временных интервалах. Элементарный объем V_{Δ} , проходящий за один оборот пластины ИТ (см. рис. 3) может быть определен как

$$V_{\Delta} = \int_{t_j}^{t_{j+1}} Q(t) dt. \quad (5)$$

Из выражения (5) видно что, сократив интервал дискретизации $t_j - t_{j+1}$, можно уменьшить V_{Δ} , а следовательно, снизить порог чувствительности ТПП по объему.

Одним из возможных путей улучшения метрологических параметров измерительной системы на ТПП является определение усредненных значений $Q(t)$ на интервалах меньших, чем период вращения пластины. Этого можно добиться путем увеличения коэффициента передачи ТПП k , который из (1) и (2) равен

$$k = k_1 \cdot k_2. \quad (6)$$

Чувствительность по объемной скорости потока ТПП в нашем случае равна

$$S = \frac{\Delta f'(t)}{\Delta Q(t)} = \frac{\Delta \omega(t) \cdot k}{\Delta Q(t) \cdot 2 \cdot \pi}. \quad (7)$$

Таким образом, повышая коэффициент передачи k можно повысить чувствительность ИС. Повышение k также влияет на динамические характеристики ТПП. По теореме Котельникова с увеличением частоты дискретизации пропорционально будет увеличиваться максимальная частота спектра входного сигнала, который подлежит однозначному восстановлению [8].

Так как в ТПП частота дискретизации зависит от входной величины (объемной скорости потока $Q(t)$), то, очевидно, существует такое значение входного сигнала Q_{min} ниже которого измерение в требуемой частотной полосе невозможно.

Рассмотрим работу ТПП при двух различных коэффициентах передачи k и k' . В том случае, если k' в два раза выше чем k , значение входного сигнала Q'_{min} в два раза меньше Q_{min} (см. рис. 4) при одном и том же значении граничной частоты F_{max} , которое соответствует верхнему граничному значению диапазона входного сигнала.

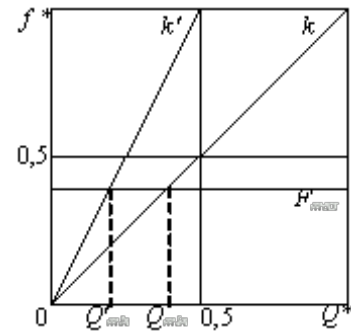


Рисунок 4. Зависимость частоты дискретизации от входного сигнала в ТПП

Таким образом, повышение коэффициента передачи ТПП приводит к уменьшению значения входного сигнала Q_{min} ,

а, следовательно, к расширению диапазона измерения при одинаковых требованиях к неравномерности АЧХ в заданной частотной полосе. Кроме того повышается чувствительность спирометрической измерительной системы по объему и объемной скорости. На практике увеличить коэффициент передачи ТПП k можно путем повышения количества лепестков измерительной турбины или увеличения числа оптических пар в ОУ-СИ.

Список литературы: 1. Гриппи М. Патологическая физиология легких: Пер. с англ. – М: БИНОМ, 1997. – 327 с. 2. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества. – М.: Машиностроение, 1989. – 702 с. 3. Сокол Е.И., Кипенский А.В., Томашевский Р.С. Спирометрия. Ее техническое обеспечение. Проблемы и перспективы // «Технічна електродинаміка» Тематичний випуск. Проблеми сучасної електротехніки. Частина 3. – Київ: Інститут електродинаміки НАНУ, 2008. – С. 119 – 124. 4. Лопата В.А. Медико-технические требования к флоуспирометрам: стандарты, перспективы и возможности выполнения // Український пульмонологічний журнал. Матеріали симпозиуму. – Киев, 2005. №3(додаток). – С. 46 – 49. 5. Томашевский Р.С., Гура Ю.М. Технические аспекты разработки прибора для тестирования функции внешнего дыхания // Материалы ХХІХ научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии». – Харьков, 2008. – С. 234 – 236. 6. Бошняк. Л.О., Бызов Л.Н. Тахометрические расходомеры. – Л.: Машиностроение, 1968. – 210 с. 7. Кипенский А.В. Импульсно-цифровые и цифро-импульсные преобразователи: Учеб. пособие. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2000. – 132 с. 8. Котельников В.А. О пропускной способности эфира и проволоки в электросвязи – Всесоюзный энергетический комитет. // Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, 1993. Репринт статьи в Журнале УФН, т. 176 №7 2006, 762 – 770.

Поступила в редколлегию 26.10.2009

УДК 631.2

А. П. СЛЕСАРЕНКО, канд. техн. наук, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

М. А. РОМАНЧЕНКО, канд. техн. наук, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

БАЗИ ДАНИХ ДЛЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КЕРУВАННЯ БАГАТОРІВНЕВОЮ ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮВАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ ОБОГРІВУ ТЕХНОЛОГІЧНО АКТИВНИХ ЗОН

Новые возможности для структурно-функционального управления энергопотоками в нагревательной системе реализуются на основе аналитического решения задачи теплопроводности для многослойной 2-мерной структуры с локализованными трубчатыми источ-