

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА ВОЗДУХА

Даревский Т.Д.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь*

Научный руководитель: Самуйлов И.В. – ст. преподаватель кафедры ЭТТ

Аннотация. Исследован ультразвуковой метод измерения потока воздуха в медицинских спирометрах на основе принципа времени пролёта (transit-time) с V-образной конфигурацией датчиков. На основании анализа литературных источников показано, что метод обеспечивает высокую точность ($\pm 2\%$), воспроизводимость, отсутствие калибровки и гигиеничность (на примерах TrueFlow™ и SharpFlow)

Ключевые слова: ультразвуковая спирометрия, время пролёта, transit-time, спирометрия, поток воздуха, функция внешнего дыхания

Введение. Измерение респираторного потока – критическая задача в пульмонологии, реаниматологии, анестезиологии и функциональной диагностике дыхания. Среди методов мониторинга всё популярнее становится ультразвуковой бесконтактный способ.

Ультразвуковой спирометрией называют определение скорости и объема дыхания по изменению времени прохождения импульсов вдоль и против потока (transit-time) или по доплеровскому сдвигу от микрочастиц. В большинстве медицинских спирометров применяется времяпролетный принцип: пара датчиков под углом к дыхательному каналу поочередно излучает и принимает сигналы. Разность времени прохождения пропорциональна скорости воздушной струи, по которой рассчитываются ключевые показатели функции внешнего дыхания.[1]

Цель работы – проанализировать преимущества и ограничения ультразвукового метода времени пролёта с диагональной конфигурацией датчиков на примере современных медицинских спирометров.

Основная часть. Принцип определения потока воздуха с помощью ультразвукового датчика. В основе ультразвуковых датчиков расхода газа лежит использование звуковых волн для измерения скорости газа. Основной метод основан на принципе времени прохождения сигнала, при котором ультразвуковые преобразователи (датчики) излучают импульсы, распространяющиеся в потоке газа. Два преобразователя располагаются таким образом, что один посылает сигналы вниз по потоку (по направлению потока), а другой – вверх по потоку (против направления потока). Разница во времени (Δt) между этими путями пропорциональна скорости газа (V) и рассчитывается по следующей формуле:

$$V = \frac{L \cdot \Delta t}{2 \cdot t_0}, \quad (1)$$

где L – длина пути, а t_0 – среднее время прохождения. Затем объемный расход рассчитывается путем умножения на площадь поперечного сечения трубы. [2]

Другой вариант – эффект Доплера, при котором волны отражаются от пузырьков или частиц в газе, а сдвиг частоты указывает на скорость – идеальную для газов, содержащих примеси. В усовершенствованных моделях для прямой передачи используются сдвиговые волны или волны Лэмба, которые вызывают резонанс стенки трубы для усиления сигналов в газах низкого давления или затухающих газах. Многоканальные конфигурации (например, 4 или 6 путей) усредняют измерения по всей трубе для обработки турбулентных или асимметричных потоков, повышая точность. На этой диаграмме показана схема измерения времени прохождения, демонстрирующая, как сигналы до и после трубы различаются в зависимости от потока.

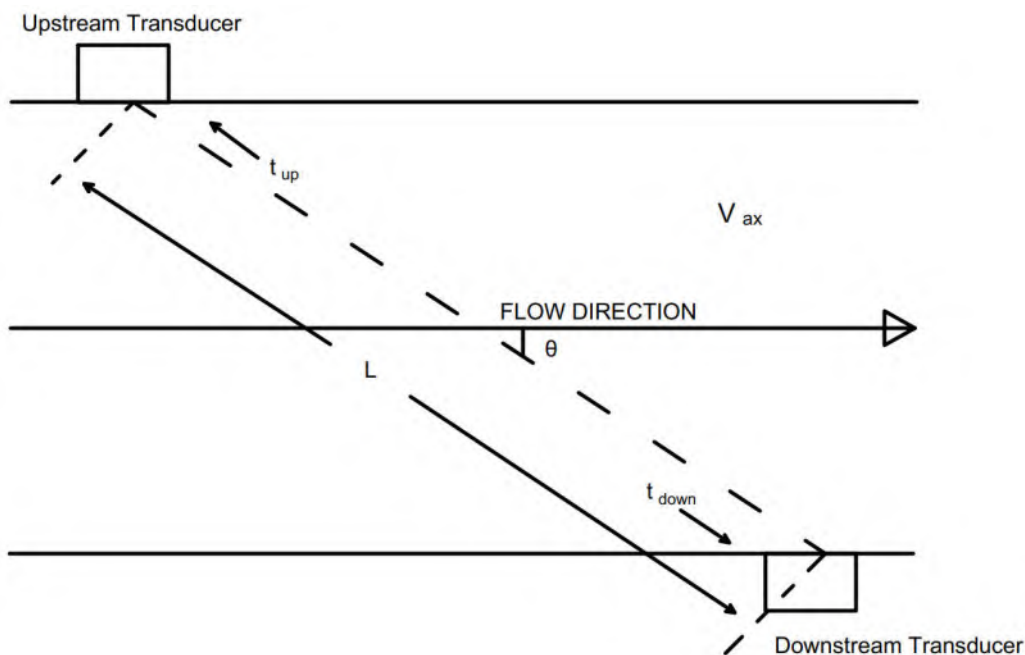


Рисунок 1 – Схема принципа работы ультразвукового датчика

В медицинских спирометрах, чаще применяется V-образная конфигурация (V-mount), где оба ультразвуковых преобразователя расположены на одной стороне канала, а сигнал отражается от противоположной стенки. Это обеспечивает компактность конструкции и лучшее усреднение профиля потока. Такая схема (V-traverse) позволяет использовать более короткий и удобный для размещения путь ультразвукового луча, что особенно важно в портативных и клинических приборах с небольшим диаметром дыхательного пути. Кроме того, отражение от стенки помогает компенсировать неравномерность скоростного профиля потока воздуха (ламинарный/турбулентный режим), повышая точность измерения объёмной скорости и интегральных показателей (например, ОФВ₁ и ЖЕЛ) даже при неидеальной геометрии потока.[3]

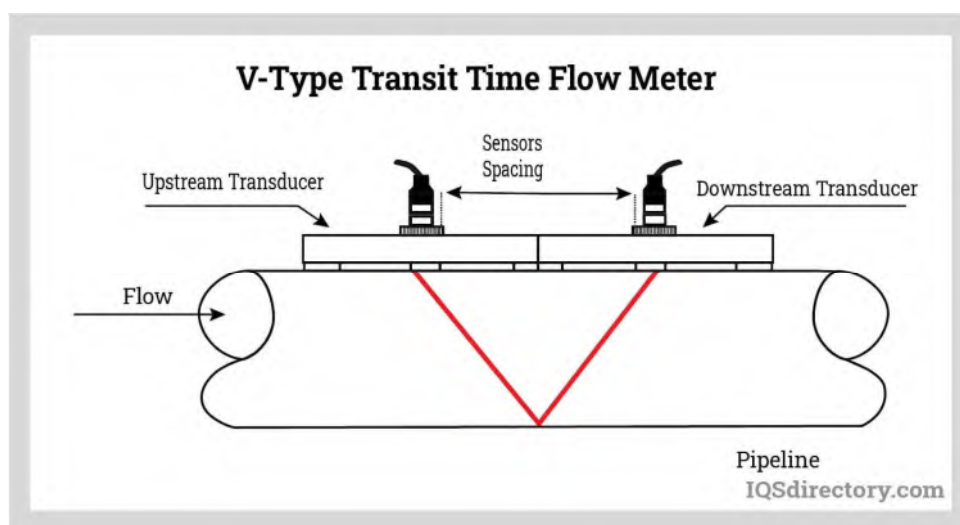


Рисунок 2 – Схема ультразвукового расходомера времени пролёта V-типа.[3]

Существуют специализированные ультразвуковые датчики, разработанные для медицинской спирометрии.

TrueFlow™ (ndd Medical Technologies) – ультразвуковой датчик на основе времени пролёта (transit-time), с открытым каналом без сопротивления и механических частей. Обеспечивает точность потока $\pm 2\%$ или ± 0.020 л/с (в зависимости от модели), объёма $\pm 2\%$ или ± 0.050 л, диапазон ± 16 л/с, не требует калибровки в течение всего срока службы, устойчив к влиянию температуры, влажности и состава газа.[4]

SharpFlow (GANSORN / Schiller) – высокоточный ультразвуковой датчик с прямым цифровым измерением времени прохождения импульсов. Характеризуется точностью потока $\pm 2\%$ или ± 0.1 л/с, объёма $\pm 2\%$ или ± 0.05 л, диапазон ± 16 л/с, полная гигиеничность (открытый канал), отсутствие необходимости в калибровке и высокая воспроизводимость результатов даже при турбулентных потоках.[5]

Закключение. Выполнен анализ ультразвукового метода определения потока воздуха, применяемого в современных медицинских спирометрических системах преимущественно на основе принципа времени пролёта с V-образной конфигурацией датчиков.

Установлено, что данный метод обеспечивает высокую точность ($\pm 2\%$ или $\pm 0,020$ – $0,1$ л/с по потоку и $\pm 2\%$ или $\pm 0,05$ л по объёму), отличную воспроизводимость результатов, отсутствие необходимости в калибровке в течение всего срока службы, а также устойчивость к вариациям температуры, влажности и состава газовой смеси. Благодаря открытому измерительному каналу без движущихся частей и сопротивления потоку достигается полная гигиеничность и комфорт пациента. Эти характеристики особенно ярко проявляются в системах TrueFlow™ (ndd Medical Technologies) и SharpFlow (GANSORN / Schiller), что делает ультразвуковую спирометрию одним из наиболее надёжных и перспективных методов функциональной диагностики внешнего дыхания.

Вместе с тем определено, что турбулентные режимы потока (при высоких скоростях или асимметричном профиле) и загрязнение канала (конденсат, аэрозоли, микрочастицы) приводят к искажению временных параметров сигнала, нарушению усреднения профиля скорости и, как следствие, к снижению достоверности ключевых показателей функции внешнего дыхания.

Список литературы

1. Принцип работы ультразвукового расходомера. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://meterflow.ru>
2. Ультразвуковой датчик расхода газа: принцип работы, конструкция и области применения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.flowmeter.com>
3. Ультразвуковые расходомеры: типы и области применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iqsdirectory.com>
4. Технология TrueFlow – как она работает [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nddmed.com>.
5. Технология SharpFlow [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ganshorn-medical.com>.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

ULTRASONIC METHOD FOR DETERMINING AIR FLOW

Darevsky T.D.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

Samoilov I.V.. – Senior Lecturer of the Department of Electronic Technology

Annotation. An ultrasonic method for measuring airflow in medical spirometers based on the transit-time principle with a V-shaped sensor configuration was investigated. A literature review demonstrated that the method provides high accuracy ($\pm 2\%$), reproducibility, lack of calibration, and hygiene (using TrueFlow™ and SharpFlow as examples).

Key words: ultrasound flowmetry, time of flight, transit-time, spirometry, air flow, respiratory function