

Гмелина Елизавета Александровна, Овсянникова Жанна Андреевна,  
Шпаковская Альбина Васильевна

## **ИСПЫТАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СВОЙСТВ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОЦЕНКИ И ТРЕНИНГА ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ**

*В настоящее время много внимания уделяется изучению функции дыхания и ее влиянию на общее состояние организма. Один из аспектов, которые вызывают особый интерес, - это зависимость скорости и объема воздушного потока от различных факторов. В этой статье будет представлено исследование, проведенное с использованием аппаратно-программного комплекса для диагностики и тренинга внешнего дыхания, с целью выявления связи между скоростью и объемом воздушного потока при дыхании. Знание этих зависимостей может иметь практическую значимость для оптимизации тренировок по улучшению функции дыхания и повышения общей физической подготовки.*

Emelina Elizaveta Alexandrovna, Ovsyannikova Zhanna Andreevna,  
Shpakovskaya Albina Vasilyevna

## **TESTS OF FUNCTIONAL AND MEASURING PROPERTIES OF A HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX FOR ASSESSMENT AND TRAINING OF EXTERNAL RESPIRATION**

*Currently, much attention is paid to the study of respiratory function and its effect on the general condition of the body. One of the aspects that are of particular interest is the dependence of the speed and volume of the air flow on various factors. This article will present a study conducted using a hardware and software complex for the diagnosis and training of external respiration, in order to identify the relationship between the speed and volume of air flow during breathing. Knowledge of these dependencies may be of practical importance for optimizing training to improve.*

**Введение.** Исследование зависимости скорости и объема воздушного потока является важным аспектом диагностики и тренинга внешнего дыхания. Воздушный поток играет ключевую роль в процессе дыхания, обеспечивая поступление кислорода в организм и удаление углекислого газа. Оптимальная скорость и объем воздушного потока существенно влияют на эффективность дыхания и здоровье.

Для изучения этой зависимости разработан аппаратно-программный комплекс, способный измерять скорость и объем воздушного потока при внешнем дыхании. Этот комплекс представляет собой совокупность датчиков и программного обеспечения, которые обеспечивают точные и надежные измерения.

Аппаратно-программный комплекс состоит из специального датчика, размещаемого непосредственно у рта пациента, и программы, что позволяет получить данные о скорости и объеме воздушного потока. Датчик оснащен высокочувствительными сенсорами, которые регистрируют даже мельчайшие изменения в потоке воздуха.

Программа анализирует данные, собранные датчиком, и предоставляет информацию о скорости и объеме воздушного потока. Это позволяет производить диагностику и тренировку внешнего дыхания на основе реальных измерений.

Использование аппаратно-программного комплекса для диагностики и тренинга внешнего дыхания имеет широкий спектр применения, включая спортивную медицину, реабилитацию, пульмонологию и другие области

**Актуальность разработки новых диагностических приборов.** Актуальность разработки новых диагностических приборов особенно важна в области изучения скорости и объема воздушного потока при внешнем дыхании. Измерение и анализ данных параметров имеют большое значение для диагностики и тренировки дыхательной системы, а также для определения эффективности различных дыхательных методик и терапевтических воздействий.

Аппаратно-программный комплекс для диагностики и тренировки внешнего дыхания представляет собой современное устройство, позволяющее проводить точные измерения скорости и объема воздушного потока при дыхании. АПК сконструирован по принципу трубки Пито, внутри которой находится датчик, который регистрирует изменения давления и скорости воздушного потока при выдохе. Аппаратная часть связана с программной частью, которое обрабатывает полученные данные и передает их на смартфон пользователя по радиоканалу.

Использование аппаратно-программного комплекса позволяет проводить исследования на основе полученных численных показателей, что позволяет следить за изменениями показателей дыхательной системы.

Такой аппаратно-программный комплекс имеет широкий спектр применения. Врачи и медицинские специалисты могут использовать его для диагностики и мониторинга заболеваний дыхательной системы, таких как астма, хроническая обструктивная болезнь легких и другие.

Также этот комплекс может использоваться в спортивной медицине и физической реабилитации для тренировки внешнего дыхания, улучшения его эффективности и повышения выносливости.

**Новые возможности обработки данных.** Современные аппаратно-программные комплексы для диагностики и тренинга внешнего дыхания предоставляют уникальные возможности обработки данных, что позволяет более детально изучить зависимость скорости и объема воздушного потока. В результате этого исследования получены новые важные данные о процессе дыхания, которые ранее были недоступны.

Одна из новых возможностей обработки данных заключается в анализе динамики изменений скорости и объема воздушного потока в режиме реального времени. С помощью специальных алгоритмов можно определить особенности дыхательного цикла и выявить его возможные нарушения. Это позволяет проводить более точную диагностику и назначать эффективное лечение пациентам с заболеваниями органов дыхания.

Другая новая возможность - анализ данных в разных фазах дыхательного цикла. Используя специальный алгоритм, можно изучить изменения объема и скорости воздушного потока вдоль всего цикла дыхания. Это помогает выявить нарушения в определенных фазах дыхания, такие как затруднения при вдохе или выдохе, и разработать индивидуальные тренировочные программы для восстановления нормального дыхания.

Использование аппаратно-программного комплекса для диагностики и тренинга внешнего дыхания с новыми возможностями обработки данных значительно расширяет наши познания о процессе дыхания. Это открывает новые возможности в области диагностики и лечения заболеваний органов дыхания и способствует повышению эффективности реабилитации пациентов.

**Применение передовых технологий сбора и анализа информации.** Для исследования зависимости скорости и объема воздушного потока с помощью аппаратно-программного комплекса для диагностики и тренинга внешнего дыхания, применяются комфортные неинвазивные технологии сбора и анализа информации.

Таким образом, использование комфортных методов регистрации данных и интеллектуальных систем обработки информации позволяет повысить информативность диагностики скорости и объема воздушного потока с помощью аппаратно-программного комплекса для диагностики и тренинга внешнего дыхания.

**Испытание.** Для того чтобы организовать процесс испытания прибора, необходимо разработать аппаратные и программные средства, которые бы поддерживали эти испытания.

Рассмотрим основные задачи, стоящие на этапе испытания:

1. Проверка прибора, как средства измерения.
2. Проверка функционирования всех аппаратно-программных средств прибора.
3. Проверка функционирования средств обработки измерения.

Рассмотрим первую задачу проверки работы прибора.

Пневмотренажер должен измерять поток воздуха, т.е. скорость движения воздуха через фиксированное сечение и косвенно оценивать объем воздуха, проходящего через это сечение путем численного интегрирования потока. Для оценки качества работы пневмотренажера в этих измерительных схемах желательно иметь источник потока воздуха с известными параметрами. Т.е. нужно разработать аппаратное средство, формирующее

положительный или отрицательный поток. Проще всего это сделать, используя систему с изменяющимся воздушным объемом, например цилиндр с поршнем. Пусть цилиндр имеет диаметр  $D$  и ход поршня  $L$ , тогда объем воздуха, вытесняемый из цилиндра

$$V = \pi DL. \quad (1)$$

Если известно время движения поршня  $T$ , то средний поток:

$$F = \frac{V}{T}, \quad (2)$$

$$F = \frac{\pi DL}{T}. \quad (3)$$

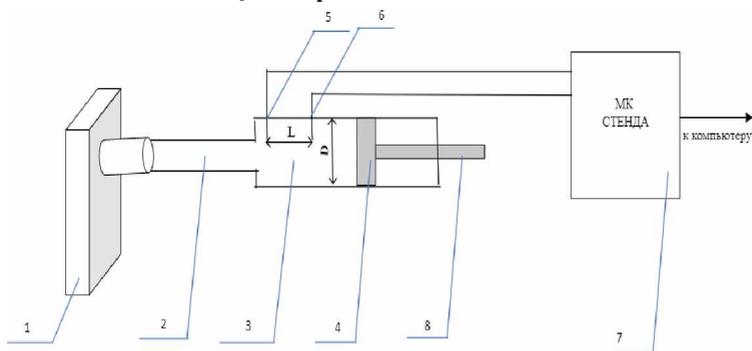
Если мы имеем средство измерения потока  $F$ , а он связан с изменением динамического давления (формула зависимости давления от скорости), то интегрируя поток  $F$ , например методом Эйлера можно определить объем воздуха за время  $T$  и затем сравнить его с объемом цилиндра. Разница будет абсолютной погрешностью измерений. Подытоживая сказанное выше, мы имеем возможность прямым экспериментом определить абсолютную погрешность прибора, работающего в режиме определения объема вдыхаемого или выдыхаемого воздуха.

**Требования к техническим средствам.** Реальная скорость воздуха при вдохе и выдохе может достигать 10 л в секунду. Создание технического средства, которое позволяет оперировать объемом 10 л представляет собой непростую задачу. В основном из-за больших объемов цилиндра. Поэтому для достижения высоких скоростей потока лучше идти по пути увеличения скорости поршня. Если поршень в цилиндре проходит путь  $L$  за 0,1 с это даст скорость 10л/сек. Если в качестве цилиндра использовать отрезок ПВХ трубы диаметром 110мм, то для получения цилиндра объемом в 1 л требуется  $1000 / \pi * 110 = 2,89 \text{ дм} = 289 \text{ см}$ . Для того, чтобы точно измерять время начала и окончания объема нужно установить два датчика положения поршня, которые фиксируют выбранную длину и передают информацию в обрабатывающий компьютер. Требования к этим датчикам: они не должны мешать движению поршня и срабатывать достаточно быстро. Исходя из того, что нам необходимо с помощью датчиков оценивать времена 100мсек, задавшись предельной погрешностью 1%. Получим, что время срабатывания датчика должно быть меньше 0,5с (поскольку датчиков 2 шт).

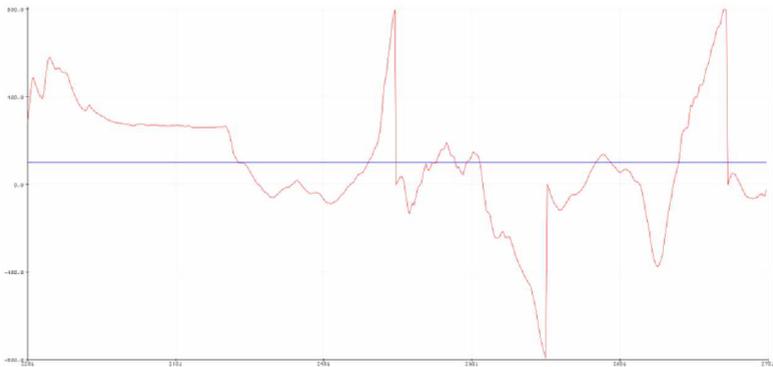
Очень важный вопрос каким способом приводить поршень в движение. Могут быть использованы различные варианты (пневматический, гидравлический и ручной привод). Гидравлический и пневматический приводы обеспечивают большие скорости движения поршня, но требуют достаточно громоздкого оборудования (электро-, гидро-клапаны, компрессоры,

аккумуляторы давления, фильтры). Электропривод напротив, достаточно компактен и просто сопрягается с микроконтроллером, однако он плохо приспособлен к созданию быстрого движения поршня. При расстояниях 3 дм можно обеспечить 2-3 сек, но не 0,1 сек. Поэтому наиболее простым решением является применение ручного привода. Усилие рук человека позволяет при силе сопротивления 2-3 кг на расстоянии 3 дм обеспечить скорость движения 0,1 -0,2 сек.

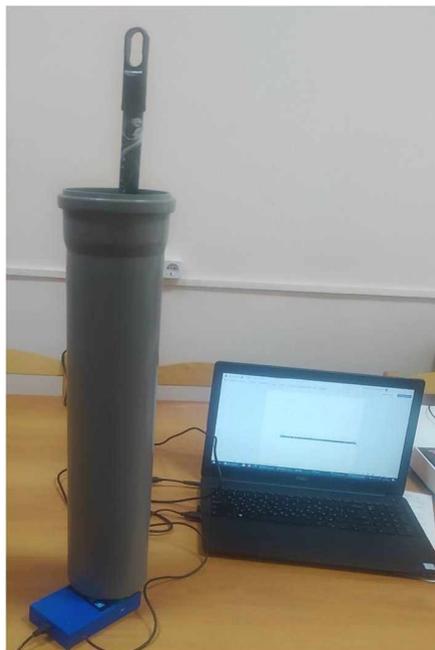
**Методика проверки метрологических свойств.** Выход цилиндра необходимо соединить с трубой пневмотренажера, запустить программу интегрирования потока и сделать несколько энергичных движений поршнем, чтобы амплитуда этих движений была не меньше  $L$ . При этом микроконтроллер стенда фиксирует в виде графика значение объема и одновременно моменты срабатывания первого и второго датчика срабатывания первого и второго датчиков движения поршня. При обработке результатов на графике вычитается значение объема, соответствующее временам срабатывания датчиков. Разность объемов должна соответствовать объему цилиндра. Т.е. отличие измеренного объема от известного объема цилиндра представляет собой абсолютную погрешность объема.



*Рис. 1. Структурная схема испытательного стенда прибора (1 – пневмотренажер; 2 - патрубок; 3 – цилиндр; 4 – поршень; 5,6- датчики положения поршня; 7 - микроконтроллер стенда; 8 - ручной шток поршня)*



*Рис. 2. Тренд данных с АЦП (по оси OX – номер посылки, по оси OY – кванты АЦП)*



*Рис. 3. Тестовая модель актов вдоха и выдоха с помощью калибрующего устройства*

Результатом испытаний является определение коэффициента пропорциональности между принимаемыми цифровыми значениями и объемом

воздуха. Зная данный коэффициент, можно по результатам данных с АЦП определить объем воздуха в мл. Коэффициент пропорциональности определяется следующим образом: зная  $R$  – радиус цилиндра,  $h$  – высоту цилиндра был рассчитан объем цилиндра, изображенного на рисунке 2.3.  $V = \pi * R^2 * h = 3,14 * 25^2 * 40 = 3140$  мл = 3,14 л. Поскольку максимальной амплитуды график, достигает на отметке 800 и -800 квантов АЦП, возможно определить цену деления:  $= 3140 / 800 = 3,925$  см/квант = 3,925 мл. Значит на 1 квант приходится 3,925 объема воздуха. Коэффициент пропорциональности надо учитывать при использовании прибора.

Таким образом, для обеспечения требуемой точности и достоверности диагностических данных, получаемых с помощью разработанного комплекса, необходимо постоянно контролировать и учитывать коэффициент пропорциональности при калибровке и настройке прибора.

**Заключение.** В статье было проведено испытание прибора с помощью разработанных для задач проекта методик проверки метрологических свойств прибора. Данный прибор при его более глубокой апробации может занять достойное место в линейке приборов, необходимых людям для восстановления здоровья.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Студенческая библиотека//Дыхательный акт и вентиляция легких Students-library.com [Электронный ресурс] URL: <https://students-library.com/library/read/33306-dyhatelnyj-akt-i-ventilacia-legkih> (дата обращения: 23.12.2021).

2. *Леонова А.В., Синютин С.А., Шнаковская О.Ю.* Разработка портативного пневмотренажера для тренировки дыхательной системы в борьбе с последствиями от перенесенного COVID-19//Инженерный вестник Дона, №4 (2022). URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7575](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2022/7575) (дата обращения 5.05.2022).

3. *Фурманова Е.А.* Спирография и спирометрия: Официальный сайт FoodandHealth. [Электронный ресурс] URL: <https://foodandhealth.ru/diagnostika/spirografiya-i-spirometriya> (дата обращения: 12.01.2022).

4. *Студми.* Учебные материалы для студентов//Биотехнические системы медицинского назначения//Принципы проектирования БТС для спирометрии. [Электронный

ресурс]URL:[https://studme.org/189443/tehnika/printsiy\\_proektirovaniya\\_spirometrii](https://studme.org/189443/tehnika/printsiy_proektirovaniya_spirometrii)  
(дата обращения: 25.03.2022).

5. *Синьков А.В., Синькова Г.М.* Исследование функции внешнего дыхания. Иркутск: ИГМУ, 2015. 15 с.

6. *Гритти М.А.* Патофизиология легких. М.: Восточная книжная компания, 1997. 344с.

7. *Квашин С.Е., Морозов А.А.* Автоматизированная обработка спирограмм на ЭВМ. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 11 с

8. *Шурыгин И.А.* Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия. -СПб. БИНОМ, 2000. 301 с.

9. *Моисеев А.В., Соколенко А.В., Ульянычева В.Ф.* Анализ, разработка и исследование оптимального метода измерения скорости воздушного потока в процессе дыхания //Научный журнал "Информатика и системы управления"//ISSN 1814-2400.URL:<https://ics.pnu.edu.ru>. (дата обращения 13.05.2022).

10. Принципы работы устройств. [Электронный ресурс]URL:<https://principraboty.ru>(дата обращения: 2.06.2022)

11. Проконтроллер ATmega2560[Электронный ресурс]URL:<https://future2day.ru/pro-kontroller-atmega2560>(дата обращения 12.05.2022).

12. Российское ардуино-сообщество «Android приложения для Arduino» [Электронный ресурс]URL:<https://arduinomaster.ru/projects/android-arduino-prilozheniya>(дата обращения 17.04.2022).

**Емелина Елизавета Александровна** – студент, кафедра встраиваемых радиосистем и управления Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; 347928; e-mail: [emelina@sfedu.ru](mailto:emelina@sfedu.ru).

**Овсянникова Жанна Андреевна** – студент, кафедра встраиваемых радиосистем и управления Федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», Россия, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44; 347928; e-mail: [ovsianniko@sfedu.ru](mailto:ovsianniko@sfedu.ru).

**Шпаковская Альбина Васильевна**– учащаяся 11 класса «В» МАОУ лицея №28, Ростовская обл., г. Таганрог, пер. Трудовых Резервов, д. 1; e-mail: [yzikcizik995@gmail.com](mailto:yzikcizik995@gmail.com).

**Emelina Elizaveta Alexandrovna** – student, department of embedded radio systems and control Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education

“Southern Federal University”; 347928, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy; e-mail: [emelina@sfedu.ru](mailto:emelina@sfedu.ru):

**Ovsiannikova Zhanna Andreevna** – student, department of embedded radio systems and control Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Education “Southern Federal University”; 347928, Russia, Taganrog, 44, Nekrasovskiy; e-mail: [ovsianniko@sfedu.ru](mailto:ovsianniko@sfedu.ru):

**Shpakovskaya Albina Vasilyevna** – student of 11th grade “B” of MAOU Lyceum No. 28, Rostov region, Taganrog, lane. Trudovykh Reservov, 1; e-mail: [ryzikcizik995@gmail.com](mailto:ryzikcizik995@gmail.com).