

УДК 519.711

## ИМИТАТОР ДЫХАТЕЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Н.Д. Езакян, Р.Г. Симонян, А.Г. Гулян

*Институт радиофизики и электроники НАН РА*

Описано устройство, имитирующее все основные функции дыхательного процесса человека, в том числе вдыхание воздуха из окружающей среды и выдыхание нагретых и увлажненных газовых смесей. В устройстве осуществляется отдельная регулировка частоты имитации дыхания, а также длительности процесса вдоха или выдоха. Все параметры имитатора выдаются для калибровки спирометров в виде напряжения постоянного тока, в том числе температура воздуха, частота дыхательного процесса, мгновенное значение скоростей воздушного потока при вдохе и газовых смесей при выдохе. Приведены функциональная схема устройства и основные параметры.

**Ключевые слова:** вдох, выдох, объем, помпа, частота, имитатор, скорость.

**Введение.** Имеется ряд приборов, которые применяются в качестве имитаторов сигналов датчиков. Например, имитатор ИС4101 предназначен для калибровки и поверки каналов измерительных приборов [1,2]. Он формирует на выходе постоянный ток в диапазоне 0,5...19,9 мА при напряжении от 0,5 до 9,99 В. При этом погрешность устанавливаемого значения тока не превышает  $\pm 3\%$ .

Наиболее близким по функциональному назначению можно считать стенд искусственного дыхания СИД-2, который разработан для проверки и тестирования дыхательных аппаратов. Он способен полностью имитировать процесс дыхания в различных условиях окружающей среды [3,4]. Основной составной частью СИД-2 является имитатор дыхания, формирующий поток вдыхаемой и выдыхаемой газовых смесей легочной вентиляции с возможностью измерения дыхательного объема и частоты дыхания. Процесс дыхания имитирует поршневой насос, который приводится в движение асинхронным электродвигателем и управляется электромагнитной муфтой. Управление скоростью поршневого насоса выполняется центробежным регулятором путем скольжения электромагнитной муфты, замыкания или размыкания тока в управляющей цепи. Одним из недостатков системы управления является то, что контроль и измерение частоты дыхания ведутся вручную с помощью секундомера. Управление объемом дыхания осуществляется вручную путем изменения положения регулирующей рукоятки и контролируется по шкале линейки.

Температурно-влажностный режим выдыхаемой газовой смеси имитируют путём нагревания и увлажнения или подсушивания газовой смеси. Нагрев последнего осуществляется электронагревателем, который управляется контактным термометром. В стенде СИД-2 предусмотрено также измерение температуры и влажности вдыхаемой и выдыхаемой газовых смесей. Измерение влажности осуществляется психометрическим способом по показаниям “сухого” и “мокрого” термометров. В качестве датчиков температуры в СИД-2 используется термометрическое сопротивление типа ТСП100. Основным недостатком этих датчиков является значительная инерционность. Ввиду того, что стенд имитирует дыхание человека, инерционность датчиков приводит к недопустимым большим ошибкам, связанным с запаздыванием информации по температуре.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Разработано устройство - имитатор, имитирующее все движения процесса дыхания (вдоха и выдоха) без вышеуказанных недостатков.

При имитации вдоха воздух поступает из окружающей среды, термостабилизируется примерно на уровне температуры лёгких человека, увлажняется и выпускается в целях калибровки. При этом на выходных клеммах прибора формируются напряжения постоянного тока, которые строго пропорциональны времени вдоха и выдоха, частоте дыхания, объёму имитатора лёгких, скорости и температуре воздушного потока при входе или выходе. В приборе обеспечивается отдельная регулировка длительности имитации вдоха и выдоха, частоты имитации дыхательного процесса.

Упрощённая структурная схема разработанного дыхательного имитатора показана на рисунке.

Для управления диафрагменным насосом 1 выходное напряжение источника 2 подаётся к входу 3 линейного преобразователя и одновременно к входу цифрового вольтметра 5, и, следовательно, показание вольтметра пропорционально частоте имитации дыхания (частота движения диафрагмы помпы 1). В имитаторе предусмотрены имитации равномерного движения диафрагмы, а также медленного вдоха и быстрого выдоха (или наоборот) и отдельное управление временем движения имитации вдоха и выдоха. Измеритель амплитудного значения напряжения 6 показывает величину, которая пропорциональна объёму помпы при крайнем положении диафрагмы. Для определения скорости впускаемого и выпускаемого воздушных потоков применяем анемометр постоянной температуры, который можно использовать для измерения как температуры, так и скоростей вдыхаемой и выдыхаемой газовых смесей [5]. Для этого на центральном участке поперечного сечения патрубка 18 прикреплены транзистор 15 и диод 16. Диод работает в прямосмещённом режиме в качестве датчика температуры, транзистор 15 работает в качестве микротермостата, при этом в первом полупериоде работы р-п переход (база - коллектор) транзистора 15 работает в прямосмещённом

режиме в качестве датчика температуры корпуса транзистора, а во втором полупериоде работы переход коллектор-эмиттер работает в режиме нагревателя для установления температуры транзистора. В качестве датчика температуры для термостата на транзисторе 15 служит напряжение, пропорциональное температуре прямосмещённого диода 16 в блоке 14 с увеличением на величину  $\Delta U$ , при этом  $\Delta U = 50 \cdot \Delta U_1$ , где  $\Delta U_1$  - изменение величины напряжения прямосмещённого диода 16 при изменении температуры датчика 16 на  $1^\circ\text{C}$ .

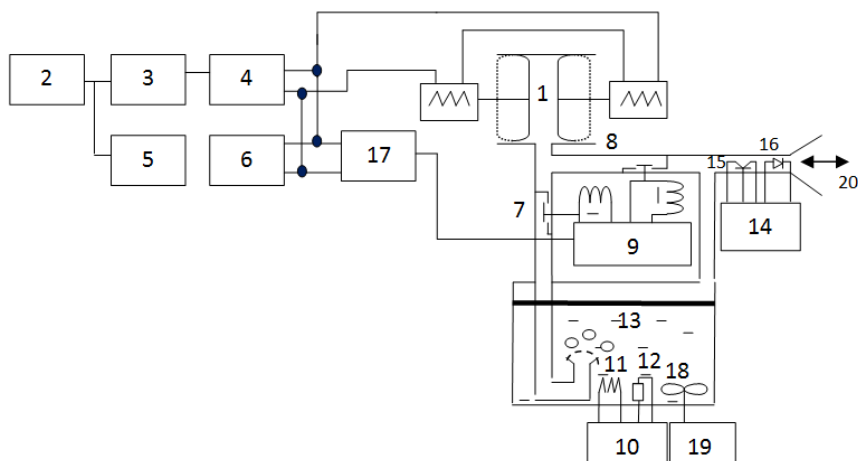


Рис. Структурная схема устройства:

1- диафрагменный насос; 2- управляемый источник постоянного тока; 3- линейный преобразователь напряжение-частота; 4- усилитель мощности; 5- цифровой вольтметр для измерения частоты; 6- цифровой вольтметр для измерения объема помпы 1; 7- клапан впуска воздуха; 8- клапан выпуска воздуха; 9- узел управления клапанами; 10- термостат для стабилизации температуры воды; 11- нагреватель; 12- термодатчик; 13- сосуд, наполненный водой; 14- измеритель скорости газовых потоков; 15- датчик; 16- диод; 17- блок синхронизации диафрагмы с положением клапанов; 18- механическая мешалка; 19- двигатель привода мешалки; 20- патрубок для впуска и выпуска воздуха

Таким образом, перегрев корпуса транзистора – термостата 15 относительно окружающего воздуха составляет  $50^\circ\text{C}$  и поддерживается стабильно при любых величинах измеряемых скоростей потока.

Для увеличения быстродействия измерения скорости потоков и температуры в качестве датчиков использованы бескорпусный диод, при этом время установления температуры составляет не более  $0,2\text{ с}$ . Мощность самонагрева термодатчика  $\leq 8\text{ мкВт}$ .

Устройство работает следующим образом. Перед включением общего питания устанавливается величина напряжения на управляющем частотой дыхания блоке 2 (устанавливаются частота имитации дыхания, длительность

имитации вдоха или выдоха, коэффициент усиления делителя 4 и установка максимального размаха движения диафрагмы). Также включается питание термометра 10 для стабилизации температуры сосуда 13. После установления температуры в сосуде 13 включается общее питание имитатора. Тогда диафрагмы помпы приходят в движение со следующей последовательностью:

1. В полупериоде имитации вдоха диафрагмы помпы 1 отодвигаются, клапан 8 открыт, воздух поступает в междиафрагменное пространство.
2. В полупериоде имитации выдоха клапан 8 закрыт, а клапан 7 открывается, диафрагмы помпы 1 приближаются, а междиафрагменный воздух выдавливается, а из открытого клапана 7 воздух поступает в сосуд 13.

Для нагревания и увлажнения воздух проходит через сетку, превращается в пузырьки, которые поднимаются на поверхность воды сосуда 13. При этом воздушные пузырьки термостабилизируются и увлажняются. После чего этот воздух поступает в выходной – входной патрубков 20 для калибровочных целей.

Таким образом, устройство обеспечивает следующие имитации:

- имитация вдоха: в помпе 1 диафрагмы отодвигаются, клапан 8 открывается, и воздух в патрубке 20 заполняет пространство между диафрагмами помпы 1;
- имитация выдоха: в помпе 1 диафрагмы приближаются, клапан 7 открывается, и воздух через клапан 7 выталкивается в нижнюю часть сосуда 13, в котором, проходя через сетку с отверстиями, в виде пузырьков поднимается до поверхности воды сосуда 13. При этом воздух увлажняется, нагревается примерно до температуры воды сосуда 13.

Во время работы прибора термостат 10 обеспечивает стабильность температуры воды сосуда 13. В приборе формируются сигналы, пропорциональные объёмам и скоростям воздушных потоков в патрубке, температуре и скорости вводимого и выводимого воздуха (при этом нагреватель 11 и термодатчик 12 с механической мешалкой находятся в сосуде 13), частоте дыхания, длительности имитации вдоха и выдоха и т.д.

Разработанный имитатор имеет следующие параметры:

- скорость газовой смеси 0,2 до 0,5 м/с
- максимальный объём воздуха 450 мл
- частота имитации дыхания от 0,1 до 0,5 Гц
- размеры диафрагменной помпы 220\*210\*220 мм<sup>3</sup>
- питание прибора ~220 В, 50 Гц
- температура газовой смеси при имитации выдоха 34,5±0,5С°,
- относительная влажность 95±5%.

**Заключение.** Разработанное устройство имитирует процессы вдоха и выдоха в большом диапазоне частот, обеспечивает требуемую форму процесса вдох-

выдох и, кроме того, выдаёт для калибровки постоянное напряжение, которое пропорционально параметрам дыхательного процесса. Разработанный имитатор может найти широкое применение для калибровки как электронных, так и механических спирометров.

#### Литература

1. <http://pdf.reestr.si.ru/file/18985-99.pdf>,
2. <http://www.tdgears.ru/device/id12166.htm>,
3. [http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/13424/1/Попов\\_Е\\_В.pdf](http://ea.donntu.org:8080/jspui/bitstream/123456789/13424/1/Попов_Е_В.pdf),
4. Руководство по эксплуатации СИД-2.- Донецк, НИИГД, 2006.- 41 с.
5. А.с. 1569719. Устройства для одновременного измерения температуры и скорости потоков / Р.А. Симонян и Д.Э. Торикян.- 1992.

*Поступила в редакцию 26.10.2015.*

*Принята к опубликованию 25.11.2015.*

### ՇՆՀԱՌԱԿԱՆ ՊԱՐԱՄԵՏՐԵՐԻ ՆՄԱՆԱԿԻՉ

#### Ն.Դ. Եզակյան, Ռ.Հ. Սիմոնյան, Ա.Գ. Դուլյան

Նկարագրված է սարք, որը նմանակում է մարդու շնչառական գործընթացի բոլոր հիմնական ֆունկցիաները, այդ թվում՝ շրջակա օդի ներշնչումը և տաքացրած ու խոնավացրած գազային խառնուրդների արտաշնչումը: Սարքի միջոցով կարգավորվում է շնչառական նմանակման հաճախությունը, առանձին կերպով կարգավորվում են ներշնչման և արտաշնչման գործողությունների տևողությունները: Տրամաչափիչի բոլոր պարամետրերի միջոցով ստուգաչափվում են սպիրոմետրերը՝ հաստատուն հոսանքի լարման տեսքով, այդ թվում՝ օդի ջերմաստիճանը, շնչառական գործընթացի հաճախականությունը, օդային հոսքերի ներշնչման և գազային խառնուրդների արտաշնչման ակնթարթային արագությունները: Տրված են սարքի կառուցվածքային սխեման և հիմնական պարամետրերը:

**Առանցքային բաներ.** ներշնչում, արտաշնչում, ծավալ, պոմպ, հաճախություն, տրամաչափիչ, արագություն:

### A SIMULATOR OF RESPIRATORY PARAMETERS

#### N.D. Yezakyan, R.H. Simonyan, A.G. Ghulyan

A device, simulating all the basic functions of the respiratory process of a human, including inhalation of ambient air and exhalation of heated and humidified gas mixtures is described. The frequency of simulated breathing is regulated in the device, the length of inhalation and exhalation are regulated separately. All the parameters of the simulator are issued for calibrating the spirometers as a DC voltage, including the air temperature, the breathing process frequency, and the instantaneous speed of the airflow at inhalation, and the gas mixtures at exhalation. The functional diagram of the device and the main parameters are given.

**Keywords:** inhalation, exhalation, volume, pump, frequency, simulator, speed.