

*Сердечный Максим Викторович  
студент 4 курса бакалавриата,  
факультет физико-технологический  
Липецкий Государственный Технический Университет  
Россия, г. Липецк  
e-mail: liqflame215@gmail.com*

*Пономарев Андрей Сергеевич  
доцент кафедры физики и БМТ (Биомедицинской техники),  
факультет БМТ(Биомедицинской техники)  
Липецкий Государственный Технический Университет  
Россия, г. Липецк  
e-mail: ponandserg@yandex.ru*

## **СИМУЛЯТОР ДЫХАНИЯ ДЛЯ РАБОЧИХ ПРИ ПРОВЕРКЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ РЕСПИРАТОРА**

**Аннотация:** *Создание сложных схем потока для дыхательной машины является сложной задачей, поскольку дыхательный объем человека изменяется в зависимости от деятельности человека и рабочей нагрузки. В данной статье совершено моделирование имитатора дыхания и устройства для отбора, регистрации и воспроизведения дыхания, способное сгенерировать различные модели, вводя образец дыхания и сигналы, записанные компьютером. Предположим, что устройство оснащено программой самоконтроля для компенсации разницы в объемах вдоха и выдоха и ошибок измерения скорости дыхательного потока.*

**Ключевые слова:** имитатор дыхания, респиратор, минутный объем, паттерн дыхания, респираторный тест.

*Serdechniy Maksim Victorovich,  
4th year bachelor student,  
faculty of Physics and technology  
Lipetsk State Technical University,  
Russia, Lipetsk*

*Ponomarev Andrey Sergeevich,  
Associate Professor of the Department of Physics and BME (Biomedical  
Engineering)  
Lipetsk State Technical University,  
Russia, Lipetsk*

## **BREATHING SIMULATOR FOR WORKERS WHEN CHECKING RESPIRATOR PERFORMANCE**

**Abstract:** *Developing complex flow patterns for a breathing machine is challenging because a person's tidal volume changes with human activity and workload. In this article, a simulation of a breath simulator and a device for the selection, registration and reproduction of respiration, capable of generating various models by introducing a breath sample and signals recorded by a computer, has been completed. Suppose the device is equipped with a self-monitoring program to compensate for differences in inspiratory and expiratory volumes and for errors in the measurement of the tidal flow.*

**Keywords:** Breath simulator, respirator, minute volume, breathing pattern, respiratory test.

Респиратор будет использоваться для защиты пациента от вдыхания опасных веществ, однако наверняка на их характеристики сильно повлияют физиологические особенности дыхания каждого отдельно взятого человека. Во время физической деятельности дыхание значительно отличается по сравнению с дыханием во время отдыха, помимо этого существуют также и иные факторы, такие как: пол, масса тела, нагрузка, условия окружающей среды. Основным недостатком иных респираторов в том, что данные, получаемые ими, требуют постоянного воздействия с пациентом, что делает наш предполагаемый респиратор намного удобнее и практичнее. Однако это будет довольно сложно, потому что данные, получаемые таким образом будут кардинально отличаться с любым изменением, будь оно связано с изменением времени суток или с любым физиологическим изменением состояния пациента. Стоит отметить, что последние исследования в этой области позволили разработать более усовершенствованные респираторы, способные синхронизировать подачу воздуха с моментом вдоха человека. Помимо прочего он будет оснащен датчиком, который сработает в момент окончания службы канистр. Эффективность этих устройств надлежит оценивать с учетом фактических моделей дыхания пользователей. Поэтому важным аспектом является имитирование модели дыхания в типичных условиях пользования. Тем не менее, предполагаемый тест не может сравнивать различные респираторы при одних и тех же условиях, так как смоделировать таковые для вывода одинаковых

образцов дыхания попросту невозможно. Также стоит учесть, что невозможно будет провести данный тест с опасными веществами, находящимися в воздухе. По этим причинам наилучшим решением для проверки эффективности респираторов будут являться лабораторные испытания для оценки эффективно и качества фильтров и картриджей. Некоторые исследования утверждают, что можно использовать симуляторы дыхания или автоматизированные системы дыхания, однако при этом сразу же пропадает возможность ситуативной реальной оценки дыхания носителя, которое невозможно смоделировать в реальных условиях. Моделируемая система сможет быть использована на рабочем месте и записать образцы дыхания для последующего воспроизведения на симуляторе дыхания. Такая последовательность действий позволит грамотно оценить характеристики респиратора в лабораторных условиях, а именно: эффективность фильтра, адсорбционную способность, сопротивление дыханию, срок службы фильтрующих картриджей и батарей, а также требуемое давление и объем воздуха. Данные действия недостижимы при обычных фиксированных паттернах дыхания, предоставляемые обычными респираторами.

## **Материалы и методы**

### **Предполагаемая система дыхательного симулятора**

Основой системы послужат сервоцилиндр, его контроллер, волновой усилитель и пара пневмоцилиндров. При этом стоит добавить дополнительный баллон с воздухом, ведь в таком случае два баллона позволят тестировать два образца одновременно и выполнять более удобный тест, такой как измерение мертвого пространства респиратора с использованием углекислого газа. Штоки сервоцилиндров будут непременно механически связаны с сервоцилиндром, дабы синхронизовать их ход. Предполагаемый шаг регулирования будет установлен до 0,01 мм, чтобы в случае нужды воспроизвести небольшие изменения в сложных паттернах дыхания.

Диаметр двух пневмоцилиндров должен составлять около 130мм. Исключительно в таком случае частота будет достигать 30 циклов в минуту при

максимальном ходе в бл за ход, что соответствует 180л в минуту. Такие условия соответствуют любым условиям вентиляции, используемых при сертификационных испытаниях во многих странах мира.

Имитатор дыхания сможет работать в трех режимах. Первый будет предназначен для генерации циклического потока с заданным паттерном дыхания. Все входные параметры, предполагаемо, будут вводиться с помощью установщика данных. Второй режим позволит включать в себя генерацию произвольных моделей потока, созданных компьютером или через записанные модели дыхания рабочего. Третий режим сможет воспроизводить дыхание человека в режиме реального времени. Предполагаемые выходные данные спирометра будут отправляться на сервоконтроллер.

### **Создание и управление схемой воздушного потока с симулятором дыхания**

Объемный расход воздуха дыхательных путей для синусоидальной функции мы сможем найти по формуле:

$$V_t = V_{\max} * \sin(2\pi t/\tau)$$

Где  $V_{\max}$  – пиковый расход

$\tau$  – время цикла одиночного дыхания.

$V_{\max}$  связан со средним объемом расхода воздуха ( $V_{av}$ ) и будет высчитываться по уравнению:

$$V_{\max} = \pi V_{av} = \pi V_m S$$

Где  $V_{av}$  - минутный объем вдыхаемого воздуха, равный произведению дыхательного объема  $V_m$  и количества дыханий в минуту  $S$

При возвратно-поступательном движении поршень будет генерировать воздушный поток, который можно высчитать по формуле:

$$V_t = (\pi ASL) * \sin(2\pi St)$$

Таким образом мы генерируем синусоидальные воздушные потоки с произвольными  $V_m$  и  $S$ .

Поскольку положение поршня будет непременно связано с  $V_t$ , то обозначим его за  $r$  и определим уравнением:

$$r = - (L/2) * \cos(2\pi St)$$

Это делается в том числе и для того, чтобы учесть тот факт, что дыхание человека меняется сложным образом от вдоха к выдоху, ведь объем вдыхаемого воздуха далеко не всегда совпадает с выдыхаемым. В том числе паттерны могут сопровождаться ошибками измерения. Ошибки в измерение скорости дыхательного потока могут быть вызваны многими факторами, такие как принцип измерения устройства, температура, влажность, люди, интервалы записи.

### **Заключение**

В этой работе мы предположили возможность моделирования прибора, включающего в себя респиратор для твердых частиц, датчик давления регистратора данных батареи. Дабы оценить точность дыхательного аппарата и имитатора мы использовали расчетную формулу для генерации синусоидальной картины воздушного потока. Возможные эффекты и необходимые величины были вычислены исходя из формул.

### **Результаты**

Теоретически были учтены возможные погрешности при измерении данных воздушного потока для повышения точности устройства записи дыхания и симулятора. В том числе было предположены расчётные значения номинального оборота воздушных потоков и подтверждена гипотеза для возможности реализации данной конструкции в соответствии с сертификацией разных стран мира. Был смоделирован имитатор дыхания, который сможет воспроизводить фактические модели дыхания рабочих в соответствии с предполагаемыми записями дыхания. Также данный тренажер сможет генерировать различные формы волн, заданные компьютером. Данная система наверняка сможет применяться для проверки эффективности респираторов рабочих с возможностью обширной калибровки соответствующих параметров.

### **Список литературы:**

1. Silverman L, Lee G, Plotkin T, Sawyers LA, Yancey AR (1951) Air flow measurements on human subjects with and without respiratory resistance at several work rates. *AMA Arch Ind Hyg Occup Med* 3, 461–78.
2. Berndtsson G (2004) Peak inhalation air flow and minute volumes measured in a bicycle ergometer test. *J Int Soc Resp Prot* 21, 21–30.
3. Coyne K, Caretti D, Scott W, Johnson A, Koh F (2006) Inspiratory flow rates during hard work when breathing through different respirator inhalation and exhalation resistances. *J Occup Environ Hyg* 3, 490–500.
4. Myojo T (1989) Breathing pattern simulation using slit/cam valve. *Am Ind Hyg Assoc J* 50, 240–4.
5. Deno NS (1984) Automatic breathing and metabolic simulator: the respiring robot. *J Int Soc Resp Prot* 2, 38–52.
6. Berndtsson G, Ekman L (2003) A new simplified technique for measuring inspiratory flow characteristics. *J Int Soc Resp Prot* 20, 91–101.
7. Groves WA (2006) Personal sampling system for measuring workplace protection factors for gases and vapors. *J Int Soc Resp Prot* 26, 30–43.