

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПЫТАНИЙ РЕГЕНЕРАТИВНЫХ ПАТРОНОВ

А.А. Третьяков<sup>1</sup>, М.А. Салыхова<sup>2</sup>, А.А. Картешкин<sup>1</sup>

*Кафедра «Информационные процессы и управление»,  
ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (1); ipu@ahp.tstu.ru;*

*ОАО «Казанский химический научно-исследовательский институт», г. Казань (2)*

*Представлена членом редколлегии профессором В.Г. Матвейкиным*

**Ключевые слова и фразы:** внешнее дыхание человека; математическая модель; средства индивидуальной защиты органов дыхания; установка «Искусственные легкие».

**Аннотация:** Рассмотрены направления повышения эффективности испытаний регенеративных патронов средств индивидуальной защиты органов дыхания человека. Рассмотрены различные схемы блока потребления кислорода, имитирующего внешнее дыхание человека.

---

В современной жизни, на производстве и в быту возможно возникновение чрезвычайных ситуаций, сопровождающихся образованием вредной или непригодной для дыхания атмосферы. В этом случае основным способом для обеспечения жизнедеятельности человека является применение средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД), основным элементом которых является регенеративные патроны [1]. Регенеративный патрон предназначен для поглощения диоксида углерода и паров воды из газовой дыхательной смеси (ГДС) и обогащения ее кислородом.

Развитие технологии защиты людей от ингаляционных поражений в чрезвычайных ситуациях, а также разработка новых и совершенствование существующих СИЗОД невозможны без проведения испытаний средств защиты в реальных условиях.

Оценивать и испытывать регенеративные патроны СИЗОД возможно двумя способами:

- с привлечением добровольцев;
- с применением установок «Искусственные легкие» (ИЛ).

Поскольку проведение испытаний СИЗОД на людях в силу ряда причин возможно лишь в ограниченном объеме, применение установок ИЛ позволяет получить данные об особенностях поведения СИЗОД во всех интересующих исследователей условиях, а также существенно уменьшить, а то и полностью исключить, испытания СИЗОД на людях [2].

В целом, воспроизводство параметров внешнего дыхания при помощи систем имитации дыхания человека (установок ИЛ) является крайне важным для выполнения задач по сертификации и периодических испытаний существующих СИЗОД (самоспасателей, изолирующих дыхательных аппаратов), а также для качественной разработки новых СИЗОД и специальных медицинских средств (уст-

ройств искусственной вентиляции легких, медицинских генераторов кислорода и др.).

Установки ИЛ представляют собой программно-аппаратный комплекс, имитирующий ряд физиологических и психофизиологических процессов, протекающих в организме человека, совокупность которых носит название внешнего дыхания человека, в том числе потребление кислорода и выделение диоксида углерода.

При этом используются различные схемы работы и имитации: сжигание в камере газовой смеси с последующим возвратом полученных газов в ИЛ, замещение вытесненных в атмосферу выходящих из индивидуального дыхательного аппарата (ИДА) газов из баллонов со сжиженными газами и др. [3].

Существуют две основные схемы построения установок ИЛ, которые отличаются способами имитации потребления кислорода: по объему, по объему и массе [4].

В первой схеме потребление кислорода имитируется путем отсоса из установки ИЛ (сброс в атмосферу) определенного объема газовой дыхательной смеси, причем величина отсоса не изменяется в процессе испытаний. Для схем, реализующих имитацию потребления кислорода по объему характерным является ее сравнительная простота, отсутствие необходимости иметь программное обеспечение [2]. Такая схема достаточно точно имитирует испытания на людях аппаратов, в которых главным критерием окончания является опустошение дыхательного мешка.

Недостатком данной схемы по сравнению с испытаниями СИЗОД на людях является существенное искажение объемной доли кислорода в ГДС. Это происходит потому, что при отсосе из ГДС удаляется не только кислород, но и другие газы (азот и диоксид углерода). Таким образом, кислород удаляется в меньшем объеме, чем это происходит при реальных испытаниях СИЗОД на людях, а объемная доля кислорода постоянно превышает величину, которая была бы при реальных испытаниях СИЗОД на человеке [5].

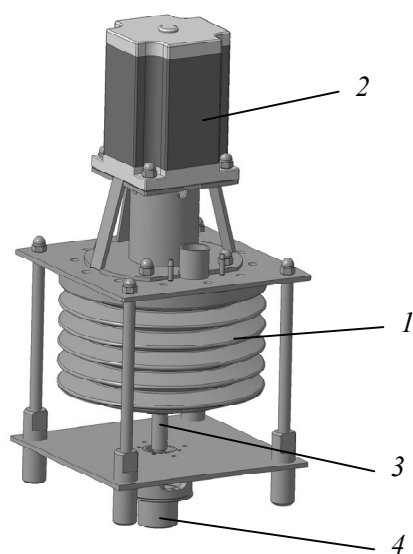
Во второй схеме потребление кислорода имитируется путем отсоса рассчитываемого объема ГДС с одновременной подачей азота и диоксида углерода в тех количествах, которые удаляются при отсосе. Дополнительная подача азота и диоксида углерода осуществляется через специальные системы, управляемые с помощью программного обеспечения на основе уравнений материальных балансов газов.

В настоящее время существуют зарубежные и отечественные установки ИЛ, оснащенные поршневыми или мембранными насосами для имитации подачи и потребления кислорода, обеспечивающими синусоидальный поток газовой дыхательной смеси. Однако в таких установках форму дыхательной кривой изменить нельзя [6]. Установка *Simulateur Respiratoire* (Франция), оснащенная шаговым Z-мотором, позволяет воспроизводить дыхательные характеристики различной формы, но при этом не позволяет реализовывать дыхательный коэффициент меньше 1 (то есть имитировать снижение производительности регенеративного патрона СИЗОД).

Таким образом, недостатками существующих зарубежных и отечественных установок ИЛ является невозможность изменения формы дыхательной кривой, что не позволяет имитировать различные психофизиологические состояния человека, и реализации математическим и программным обеспечением автоматизированной системы управления комплекса дыхательного коэффициента меньше 1, так как в процессе испытаний производительность регенеративного патрона ИДА снижается, что приводит к уменьшению данного коэффициента до 0,5...0,8.

Следовательно, для повышения эффективности испытания СИЗОД необходимо обеспечить реализацию на установке ИЛ различных форм кривой дыхания и значений дыхательного коэффициента.

Возможным вариантом повышения эффективности проведения испытаний СИЗОД является применение для дозирования газов установки ИЛ на основе сифонного насоса с приводом от шагового двигателя и шариковинтовой пары в качестве передаточного механизма. Это позволит бесступенчато изменять объем дыхания, воспроизводить различные формы кривой дыхания в процессе проведения испытания. На рисунке 1 представлена схема блока потребления кислорода, реализующая сброс заданного объема ГДС в установке ИЛ, построенная на основе сифонного насоса и шагового двигателя.



**Рис. 1. Схема дозирующего устройства на основе сифонного насоса и шагового двигателя:**

1 – сифонный насос; 2 – шаговый двигатель; 3 – шариковинтовая пара; 4 – энкодер

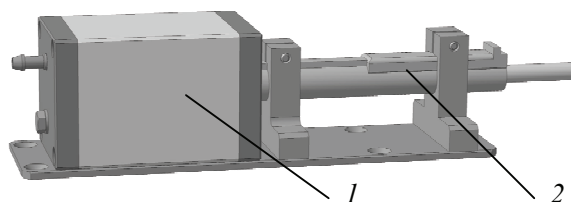
Альтернативным вариантом построения блока потребления кислорода является использование поршневого дозатора, работающего совместно с линейным двигателем (рис. 2). Преимуществом такой схемы является возможность реализации более широкого диапазона динамических режимов работы блока потребления кислорода.

Аналогичные схемы могут быть использованы для реализации подачи азота и диоксида углерода в установке ИЛ.

Использование предложенной технической реализации не представляется возможным в отсутствие системы управления и математической модели, адекватной внешнему дыханию человека, учитывающей приспособительные реакции организма на такие воздействия, как изменения нагрузки, условий дыхания, положения тела, давления, воздействие ускорений или изменения состава ГДС [7].

Все вышеописанные факторы влияют на форму кривой дыхания и соответственно на легочную вентиляцию, что, в свою очередь, влияет на характер работы СИЗОД и время его защитного действия, поскольку неравномерный поток, проходящий через патрон СИЗОД, по сравнению с равномерным значительно изменяет характер протекающих в нем процессов.

Следовательно, в установке ИЛ необходимо реализовать такое изменение нагрузки посредством смены режимов испытаний с постоянными параметрами



**Рис. 2. Схема дозирующего устройства на основе поршневого дозатора и линейного двигателя:**

1 – поршневой дозатор; 2 – линейный двигатель

дыхания, которое обеспечило бы параметры дыхания, характерные человеку в реальных условиях.

Исследование влияния вышеперечисленных факторов на легочную вентиляцию и работу СИЗОД возможно с использованием инструментов имитационного моделирования. Однако существующие математические модели внешнего дыхания человека не учитывают большую часть факторов, влияющих на внешнее дыхание (сопротивление дыханию, давление и температура окружающей среды, психофизиологическое состояние и др.). Поэтому их использование для целей исследования процесса дыхания и в составе автоматизированной системы управления установкой ИЛ нецелесообразно.

Таким образом, для исследования вышеперечисленных факторов необходимо разработать математическую модель внешнего дыхания, учитывающую реакцию организма на различные воздействия, в том числе взаимное влияние системы «Человек – СИЗОД» [3].

Математическая модель внешнего дыхания человека, учитывающая описанные факторы, может использоваться в качестве прогнозирующей модели в составе двухуровневой системы управления установкой ИЛ [8]. Задачами верхнего уровня системы управления является прогнозирование изменений параметров внешнего дыхания человека (глубина и частота дыхания, объем выделенного диоксида углерода, объем поглощенного кислорода, форма кривой дыхания), а задачами нижнего уровня – отработка программ управления локальными средствами автоматики. Данное техническое и программное решение позволит повысить эффективность проведения испытаний СИЗОД на установке ИЛ.

*Работа выполнена в рамках соглашения № 14.В37.21.2083 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.*

#### *Список литературы*

1. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования : учеб. пособие / С.В. Гудков [и др.]. – М. : Машиностроение, 2008. – 188 с.
2. ГОСТ Р 12.4.220–2001 ССБТ. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Аппараты изолирующие автономные с химически связанным кислородом (самоспасатели). Общие технические требования. Методы испытаний. – Введ. 2002–07–01. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 23 с.
3. А.с. 119800 СССР, МПК<sup>6</sup> А 62 В 27/00. Стенд для испытания кислородно-дыхательной аппаратуры / Н.С. Диденко (СССР). – № 605608/31 ; заявл. 08.08.58 ; опубл. 01.01.59, Бюл. № 9. – 4 с.
4. Гудков, С.В. Совершенствование методики испытания изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом / С.В. Гудков, Д.С. Дворецкий, А.Ю. Хромов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 589–597.
5. Berger, A.J. Control of Breathing / A.J. Berger // Textbook of Respiratory Medicine / edited by J. Murray, J. Nadel. – Philadelphia, 2000. – P. 179–197.
6. Kyriazi, N. Development of an Automated Breathing Metabolic Simulator / N. Kyriazi. – Pittsburgh, PA : U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Mines, 1986. – 17 p. – (IC 9110).
7. Руководство по клинической физиологии дыхания / под ред. Л.Л. Шика и Н.Н. Канаева. – Л. : Медицина, 1980. – 375 с.
8. Итеративные прогнозирующие алгоритмы терминального управления нелинейными объектами / П.М. Оневский [и др.] // Системы упр. и информ. технологии. – 2011. – № 2 (44). – С. 34–39.

## Improving the Efficiency of Regenerative Cartridge Testing

A.A. Tretyakov<sup>1</sup>, M.A. Salyakhova<sup>2</sup>, A.A. Karteshkin<sup>1</sup>

*Department "Information Processes and Control", TSTU (1); ipu@ahp.tstu.ru;  
Kazan Chemical Research Institute, Kazan (2)*

**Key words and phrases:** "Artificial light" device; human external respiration; mathematical model; personal respiratory protection.

**Abstract:** The paper explores the ways to increase the efficiency of testing of regenerative cartridges for personal respiratory protection. Various schemes of oxygen consumption unit, imitating human external respiration have been described.

---

## Erhöhung der Effektivität der Prüfungen der regenerativen Patronen

**Zusammenfassung:** Es sind die Richtungen der Erhöhung der Effektivität der Prüfungen der regenerativen Patronen der Mittel des individuellen Schutzes der Atmungsorgane des Menschen betrachtet. Es sind verschiedene Schemen des Blocks des Verbrauches des Sauerstoffes, der die äußerliche Atmung des Menschen imitiert, betrachtet.

---

## Augmentation de l'efficacité des essais des mandrins régénératifs

**Résumé:** Sont examinées les directions de l'augmentation de l'efficacité des essais des mandrins régénératifs des moyens de la protection individuelle des organes de la respiration de l'homme. Sont étudiés les schémas différents du groupe de la consommation de l'oxygène imitant la respiration extérieure de l'homme.

---

**Авторы:** *Третьяков Александр Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Салыхова Миляуша Акрамовна* – младший научный сотрудник, ОАО «Казанский химический научно-исследовательский институт», г. Казань; *Картешкин Александр Александрович* – магистрант кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Погонин Василий Александрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---