

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ЧЕЛОВЕКА

Г. Р. Камалетдинова<sup>1</sup>, М. П. Оневский<sup>2</sup>, А. А. Третьяков<sup>2</sup>

*Научно-исследовательская лаборатория «Проектирование и моделирование сложных технических систем» (1); кафедра «Информационные процессы и управление» (2), ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; ipu@mail.ahp.tstu.ru*

**Ключевые слова:** автоматизированная система научных исследований; внешнее дыхание человека; структура; установка «Искусственные легкие».

**Аннотация:** Предложена структура автоматизированной системы научных исследований, предназначенная для повышения эффективности теоретических и экспериментальных исследований средств защиты органов дыхания человека. Приведены уровни организации системы научных исследований и структура технического и программного обеспечения. Рассмотрены подсистемы автоматизированной системы научных исследований.

---

В настоящее время создаются средства индивидуальной защиты (СИЗ) органов дыхания человека от поражающих факторов химической и биологической природы нового поколения – изолирующие дыхательные аппараты (ИДА), основанные на использовании перспективных регенеративных продуктов и различного конструктивного исполнения. Создаваемые СИЗ требуют проведения испытаний как на стадии разработки, так и стадии производства [1].

Основным средством для проведения испытаний ИДА, а также их отдельных компонентов и сорбентов с химически связанным кислородом является установка «Искусственные легкие» (ИЛ). Важная задача при проведении объективных испытаний ИДА – обеспечение адекватности испытаний с использованием установок ИЛ результатам физиологического процесса дыхания человека. Качество проведения испытаний зависит от точности воспроизведения процессов имитации дыхания человека в установках ИЛ при различных психофизиологических состояниях человека и характеристиках регенеративных патронов ИДА, как их важнейших конструктивных элементов [2, 3].

Испытания ИДА на установках ИЛ предполагают циклическое изменение состава циркулирующей газовой смеси в соответствии с присущими человеку пневмотахограммами дыхания, учитывающими влияние его психофизиологических состояний, нагрузки и других факторов окружающей среды. Регенерация выдыхаемого воздуха во многом зависит от тепловых режимов работы химических сорбентов, применяемых в регенеративных патронах ИДА, их теплофизических свойств (теплопроводности, теплоемкости и плотности). В основе работы регенеративных патронов лежат хемосорбционные процессы, которые по своей сути являются сложной системой тепломассопереносных и гидромеханических процессов. При этом тепловые процессы, как правило, носят лимитирующий характер на ресурс регенеративных патронов [4].

Совмещенность массо- и теплообменных процессов в регенеративных патронах ИДА, а также их слабая изученность определяют необходимость нахождения оптимальных режимов исследований характеристик ИДА (время защитного действия, сопротивление дыханию и др.) на установках ИЛ и разработки эффективных моделей и алгоритмов для автоматизированных систем управления процессом проведения испытания на основе использования методов математического моделирования и оптимального управления, методов теории массо- и теплопереноса.

Таким образом, для повышения эффективности теоретических и экспериментальных исследований ИДА необходима разработка интеллектуальной автоматизированной системы научных исследований (АСНИ) СИЗ человека, структура которой представлена на рис. 1.

Общая структура данной АСНИ включает в себя три уровня организации: объектный, инструментальный и базовый [5, 6], ее выбор диктуется единой схемой проведения исследований, особенностями и специфическими требованиями.

Поскольку объектный уровень АСНИ характеризуется непосредственной связью с объектом исследования – ИДА, то на данном уровне используется испытательная установка ИЛ, назначение которой состоит в организации процесса имитации внешнего дыхания человека в системе «ИЛ–ИДА». Используемая на объектном уровне АСНИ установка ИЛ представляет собой автоматизированный комплекс, в котором имитация потребления кислорода осуществляется путем сброса в атмосферу рассчитываемого объема газовой дыхательной смеси (ГДС) с одновременной подачей азота и диоксида углерода в тех количествах, которые удаляются при сбросе ГДС в атмосферу [2]. Предполагается, что в установке ИЛ циркулирует трехкомпонентная смесь газов  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ . Для сброса ГДС и подачи азота и диоксида углерода предлагается использовать поршневые дозаторы

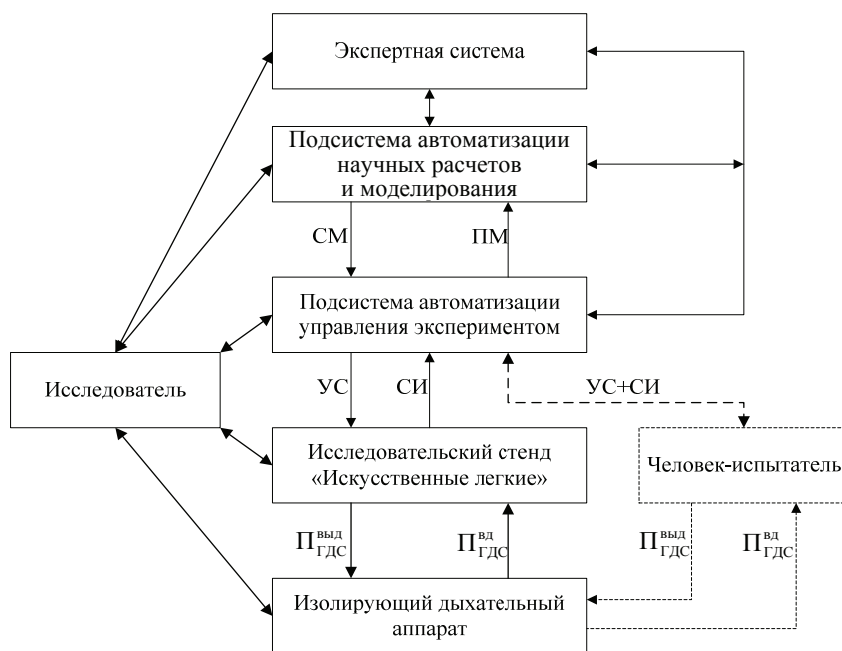


Рис. 1. Структура АСНИ СИЗ человека:

$P_{ГДС}^{вд}$ ,  $P_{ГДС}^{выд}$  – параметры газовой дыхательной смеси на вдохе и выдохе соответственно; УС – управляющие сигналы; СИ – сигналы измерения; ПМ – параметры моделей; СМ – структуры моделей

с линейными электрическими приводами, позволяющие воспроизводить с высокой точностью реальные пневмотахограммы дыхания, требуемые объемы подаваемых и удаляемых газов в ИЛ. Данные устройства должны работать синхронно с приводом имитатора дыхания, который воспроизводит различные пневмотахограммы дыхания, присущие человеку, с определенной частотой и глубиной, причем сброс ГДС и подача соответствующих газов проводятся на фазе вдоха. Параметры ГДС (объем, концентрация, давление, температура, влажность) на фазах вдоха и выдоха должны соответствовать параметрам газов при дыхании человека с использованием ИДА. Данные параметры, а также параметры процессов, происходящих в ИДА, должны измеряться соответствующими техническими средствами, обладающими своими динамическими характеристиками, погрешностями и т.п. Данные, получаемые с измерителей, должны оперативно обрабатываться и использоваться при реализации управления установкой ИЛ, а также передаваться на вышестоящий инструментальный уровень и накапливаться в базе данных (БД) АСНИ для дальнейшего анализа исследователем, в том числе и оказания ему помощи в интерпретации результатов эксперимента и принятии решений о ходе дальнейших исследований. На объектный уровень возлагают также функции, связанные с подготовкой информации для длительного хранения, текущей регистрации и документирования данных.

Инструментальный уровень предназначен для проведения сложных видов обработки результатов экспериментов, полученных на установке ИЛ, научных расчетов и моделирования процесса имитации внешнего дыхания человека и системы управления установкой ИЛ с использованием методов математического моделирования и планирования эксперимента. На данном уровне осуществляются накопление и хранение информации, полученной в результате исследования, в БД АСНИ, а также отработка алгоритмов и программ управления установкой ИЛ, используемых на объектовом уровне в подсистеме автоматизации управления экспериментом.

Базовый уровень АСНИ используется для осуществления наиболее сложных и громоздких научных расчетов, моделирования, обработки и представления информации.

В подсистеме автоматизации управления экспериментами (АУЭ) осуществляется первичная обработка СИ на объекте исследования, выявление наиболее информативных опытов для конкретных моделей ИЛ и ИДА (планирование экспериментов), определение неизвестных ПМ с использованием текущих СИ и информации в БД АСНИ (решение обратных задач моделирования), расчет и реализация УС, в том числе оптимальных режимов управления установкой ИЛ.

В автоматизации научных расчетов и моделирования (АНРМ) осуществляется разработка априорных гипотез, выбор критериев, методов и средств научных исследований, синтез вариантов математических моделей ИЛ и ИДА, расчеты отклика моделей (решение прямых задач моделирования) и сохранение результатов расчета в БД АСНИ, расчет оптимальных режимов управления установкой ИЛ. Отметим, что функции подсистем АУЭ и АНРМ могут быть использованы как на инструментальном, так и на базовом уровнях.

Экспертная система базового уровня осуществляет поддержку принятия решений по формированию параметров дыхания человека (вид пневмотахограммы дыхания, коэффициент дыхания, глубина и частота) в соответствии с планом проведения экспериментов и позволяет имитировать последовательность режимов работы человека (тяжелая работа, легкая работа и др.) [7]. Структура экспертной системы представлена на рис. 2.

Интерфейсный модуль предназначен для ввода/вывода информации и команд в экспертную систему, осуществления взаимодействия экспертной системы с другими подсистемами АСНИ и экспертами в области испытаний ИДА.

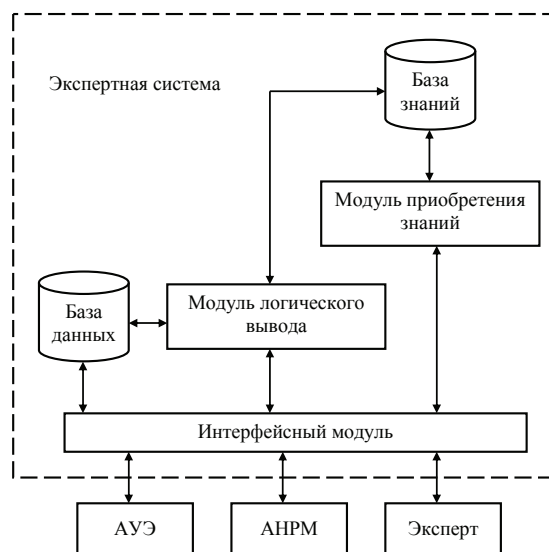


Рис. 2. Структура экспертной системы АСНИ

База данных экспертной системы накапливает и хранит экспериментальные данные испытаний и данные, полученные в результате расчетов по математическим моделям, содержит характеристики компонентов ИДА и параметры стандартных режимов испытания.

База знаний включает продукционные правила, описывающие логическую взаимосвязь различных параметров испытания ИДА на установке ИЛ, которые определяют, что следует делать в данной конкретной ситуации, и состоят из двух частей: условия, выполняющиеся или нет, и действия, которое следует произвести, если условие выполняется. Все используемые в экспертной системе правила образуют систему правил, определяемую экспертами.

Модуль логического вывода осуществляет обработку знаний, находящихся в базе знаний. Он реализует последовательное рассмотрение совокупности правил. При выполнении условия, содержащегося в правиле, предлагается набор решений.

Модуль приобретения знаний служит для создания набора правил продукционной базы знаний. Структурное единство подсистем обеспечивается связями между компонентами различных средств обеспечения АСНИ. Структурное объединение подсистем АСНИ в систему обеспечивается связями между компонентами, входящими в подсистемы [5].

На рисунке 3 представлены структуры технического и программного обеспечения АСНИ СИЗ.

Компоненты технической системы (КТС) обеспечения образуют КТС АСНИ. Нижний уровень КТС включает датчики (температуры, давления, концентрации и др.), формирующие СИ и исполнительные механизмы (дозаторы с линейными электроприводами, клапаны и др.), реализующие УС на установке ИЛ.

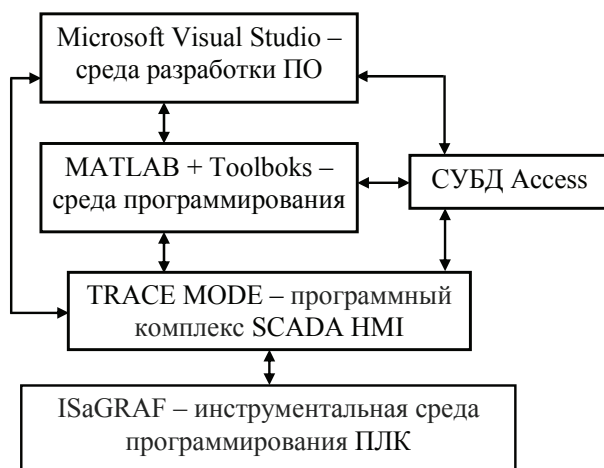
Комплекс технических средств содержит в своем составе промышленный программируемый логический контроллер (ПЛК), модули сбора данных и управления.

Промышленный контроллер осуществляет:

- обработку программ, реализующих различные пневмотахограммы дыхания с возможностью изменения в реальном времени амплитуды (глубины) и частоты дыхания и позволяющих имитировать полное потребление кислорода человеком (по объему и массе);



a)



b)

**Рис. 3. Структуры технического (а) и программного (б) обеспечения АСНИ**

- формирование команд управления линейными электроприводами, приводящими в движение дозаторы ГДС;
- контроль и регулирование технологических параметров;
- первичную обработку СИ, выработку УС.

Программируемый логический контроллер связан с верхним уровнем КТС промышленной сетью. На верхнем уровне КТС на базе РС-совместимого компьютера реализовано автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора АСНИ.

Задачами АРМ оператора являются:

- сбор, регистрация, хранение и архивирование информации, поступающей от ПЛК;
- представление текущей и исторической информации на дисплее;
- задание режима проведения эксперимента или выбор из заранее определенных режимов, хранящихся в БД;
- задание плана проведения экспериментов в целях имитации последовательности режимов работы (тяжелая работа, легкая работа, сон, и т.п.);
- защита от несанкционированного доступа к АСНИ;
- генерация отчетов и протоколов.

Задачами станции инжиниринга, построенной на базе РС-совместимого компьютера и связанной с АРМ информационной сетью, являются:

- синтез вариантов математических моделей;
- решение прямых и обратных задач моделирования;
- расчет оптимальных режимов управления установкой ИЛ;
- реализация экспертной системы АСНИ.

Компонентами программного обеспечения АСНИ СИЗ являются средства разработки программного обеспечения для ПЛК – ISaGRAF, АРМ оператора – SCADA-система Trace Mode 6, прикладных программ станции инжиниринга – MATLAB и Microsoft Visual Studio, а также средства управления БД АСНИ – СУБД Microsoft Access.

Таким образом, использование АСНИ СИЗ предложенной структуры позволит повысить эффективность испытания СИЗ и получить новые знания в данной области.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда – Соглашение № 15-19-10028.*

#### *Список литературы*

1. 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. – 20 с.
2. Гудков, С. В. Совершенствование методики испытания изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом / С. В. Гудков, Д. С. Дворецкий, А. Ю. Хромов // Вест. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 589 – 597.
3. Диденко, Н. С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н. С. Диденко. – М. : Недра, 1990. – 158 с.
4. Путин, С. Б. Комплексная система химической безопасности России: теоретические основы и принципы построения / С. Б. Путин, В. Д. Самарин. – М. : Машиностроение, 2010. – 280 с.
5. Виноградова, Н. А. Научно-методические основы построения АСНИ / Н. А. Виноградова, А. А. Есюткин, Г. Ф. Филаретов. – М. : Изд-во МЭИ, 1989. – 84 с.
6. Кафаров, В. В. Основы автоматизированного проектирования химических производств / В. В. Кафаров, В. Н. Ветохин; отв. ред. И. М. Макаров. – М. : Наука, 1987. – 623 с.
7. Джарратано, Дж. Экспертные системы: принципы разработки и программирование / Дж. Джарратано, Г. Райли. – М. : Вильямс, 2007. – 1152 с.

## Automated System of Research into Respiratory Protection Equipment

G. R. Kamaletdinova<sup>1</sup>, M. P. Onevsky<sup>2</sup>, A. A. Tretyakov<sup>2</sup>

*Research Laboratory Design and Simulation of Complex Technical Systems, TSTU (1);  
Department of Information Processes and Control (2), TSTU; ipu@mail.ahp.tstu.ru*

**Keywords:** artificial lungs apparatus; automated system of scientific research; external respiration of a human being; structure.

**Abstract:** The structure of the automated system of research, designed to improve the efficiency of theoretical and experimental studies of respiratory protection equipment has been proposed. The levels of organization of the research and the structure of hardware and software have been described. The subsystem of the automated system of scientific research has been studied.

### References

1. Federal Agency on Technical Regulating and Metrology, *GOST R 12.4.220-2001 SSBT. Sredstva individual'noi zashchity organov dykhaniya. Apparaty izoliruyushchie avtonomnye s khimicheskimi svyazannym kisloro-dom (samospasateli). Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy* (State Standards of the Russian Federation 12.4.220-2001 SSBT. Occupational safety standards system. Respiratory protective devices. Self contained escape apparatus with chemical oxygen. General technical requirements. Test methods), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2001, 20 p.
2. Gudkov S.V., Dvoret'skii D.S., Khromov A.Yu. *Transactions of Tambov State Technical University*, 2009, vol. 15, no. 3, pp. 589-597.
3. Didenko N.S. *Regenerativnye respiratory dlya gornospasatel'nykh rabot* (Regenerative respirators for rescue work), Moscow: Nedra, 1990, 158 p.
4. Putin S.B., Samarin V.D. *Kompleksnaya sistema khimicheskoi bezopasnosti Rossii: teoreticheskie osnovy i printsipy postroeniya* (A comprehensive system of chemical safety of Russia: theoretical foundations and principles of construction), Moscow: Mashinostroenie, 2010, 280 p.
5. Vinogradova N.A., Esyutkin A.A., Filaretov G.F. *Nauchno-metodicheskie osnovy postroeniya ASNI* (Scientifically-methodical bases of construction of ARS), Moscow.: Izdatel'stvo MEI, 1989, 84 p.
6. Kafarov V.V., Vetokhin V.N., otv. red. Makarov I.M. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya khimicheskikh proizvodstv* (Basics of computer-aided design of chemical plants), Moscow: Nauka, 1987, 623 p.
7. Dzharratano Dzh., Raili G. *Ekspertnye sistemy: printsipy razrabotki i programirovaniye* (Expert systems: design principles and programming), Moscow: Izdatel'skii dom «Vil'yams», 2007, 1152 p.

---

## Automatisiertes System der wissenschaftlichen Forschungen der Mittel des Schutzes der Atmungsorgane des Menschen

**Zusammenfassung:** Es ist die Struktur des automatisierten Systems der wissenschaftlichen Forschungen, das für die Erhöhung der Effektivität der theoretischen und experimentalen Forschungen der Mittel des Schutzes der Atmungsorgane des



Menschen vorherbestimmt ist, vorgeschlagen. Es sind die Niveaus der Organisation des Systems der wissenschaftlichen Forschungen und die Struktur der technischen Versorgung und der Software angeführt. Es sind die Systemgruppen des automatisierten Systems der wissenschaftlichen Forschungen betrachtet.

---

### **Système automatisé des recherches scientifiques des moyens de la protection des organes de respiration de l'homme**

**Résumé:** Est proposé la structure du système automatisé des recherches scientifiques conçu pour améliorer l'efficacité des recherches théoriques et expérimentales de l'équipement de la protection des organes de respiration de l'homme. Sont mentionnés les niveaux de l'organisation du système de la recherche scientifique et de la structure technique ainsi que des logiciels. Sont examinés les sous-systèmes du système automatisé des recherches scientifiques.

---

**Авторы:** *Камалетдинова Гузель Ринатовна* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории «Проектирование и моделирование сложных технических систем»; *Оневский Максим Павлович* – аспирант кафедры «Информационные процессы и управление»; *Третьяков Александр Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

**Рецензент:** *Мищенко Сергей Владимирович* – доктор технических наук, профессор, научный руководитель кафедры «Мехатроника и технологические измерения», советник при ректорате, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

---