

**АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ПОСТРОЕНИЮ  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
ИСПЫТАТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ  
«ИСКУССТВЕННЫЕ ЛЕГКИЕ»**

**И.А. Елизаров<sup>1</sup>, А.М. Смолин<sup>2</sup>, В.Ю. Харченко<sup>1</sup>**

*Кафедра «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ» (1);  
ОАО «Государственный научно-исследовательский химико-аналитический  
институт», г. Санкт-Петербург (2); ipu@ahp.tstu.ru*

*Представлена членом редколлегии профессором В.Г. Матвейкиным*

**Ключевые слова и фразы:** внешнее дыхание человека; индивидуальные дыхательные аппараты; интеллектуальная система управления; комплекс «Искусственные легкие».

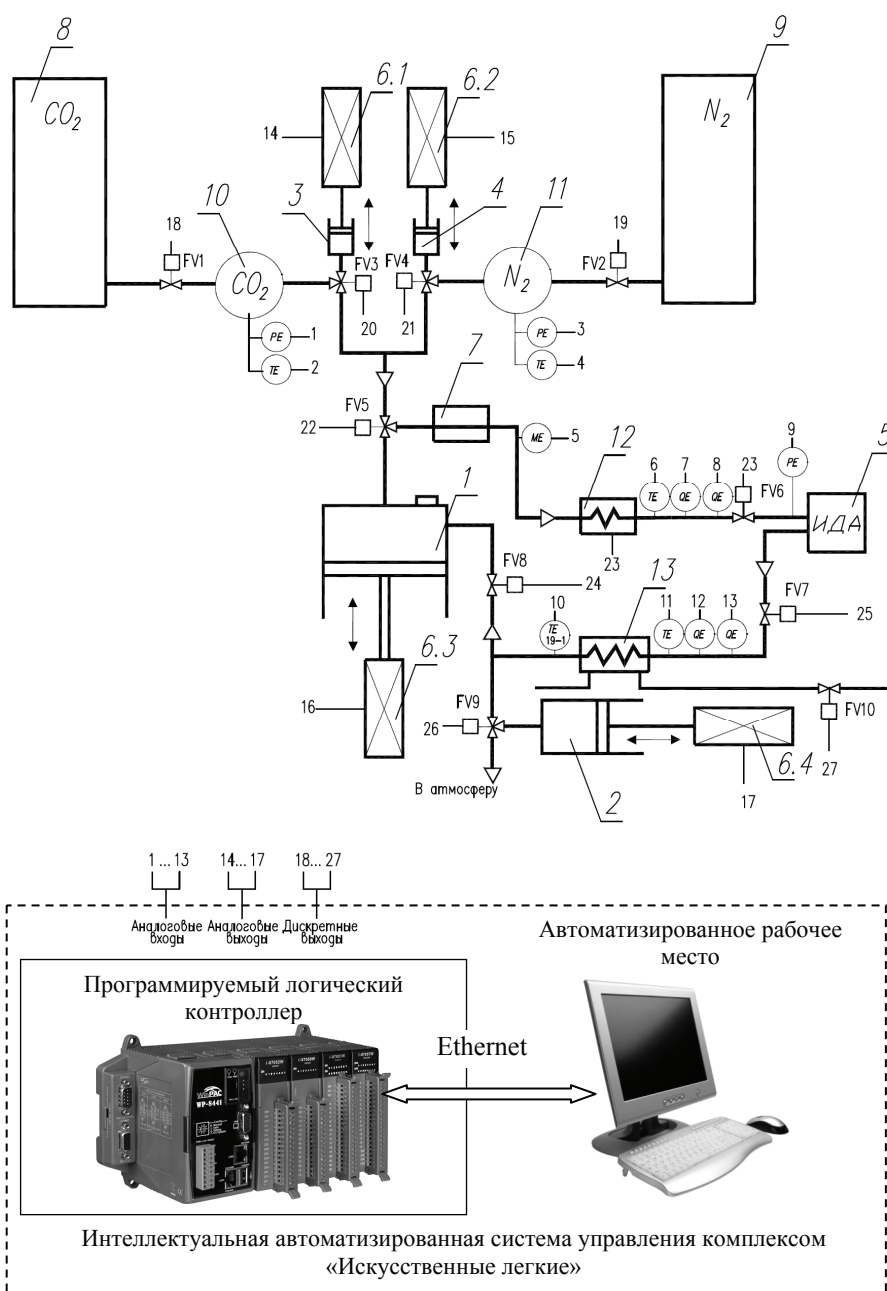
**Аннотация:** Предложена усовершенствованная схема испытательного комплекса «Искусственные легкие» с использованием высокоскоростных и высокоточных линейных приводов и интеллектуальной системы управления, адекватно имитирующей дыхание человека при испытании изолирующих дыхательных аппаратов. Приводятся состав и подходы к построению математического обеспечения испытательного комплекса «Искусственные легкие».

---

Развитие технологии защиты людей от ингаляционных поражений в чрезвычайных ситуациях, а также разработка новых и совершенствование существующих индивидуальных дыхательных аппаратов (ИДА) невозможны без проведения испытаний ИДА в реальных условиях. Эти испытания проводятся или в условиях использования ИДА человеком, или с применением специальных установок, имитирующих дыхание человека. Такие системы имитации дыхания человека в специальной литературе получили название установки «Искусственные легкие» (ИЛ) [1].

На базе ОАО «Корпорация «Росхимзащита» была разработана установка ИЛ (рис. 1), которая включает имитатор дыхания 1, имитатор потребления кислорода 2, поршневые дозаторы углекислого газа и азота 3 и 4, патрубки для подключения индивидуального дыхательного аппарата 5, актуаторы (линейные приводы) 6.1–6.4, водяную баню 7, баллоны с углекислым газом и азотом 8 и 9, гибкие резервуары с углекислым газом и азотом 10 и 11, нагреватель 12, холодильник 13, набор двухходовых и трехходовых клапанов FV1-FV10, а также автоматизированную систему управления.

Основная задача комплекса – обеспечение воспроизведения требуемых (в соответствии с программой испытаний) эпюр дыхания. Эта задача решается за счет реализации разработанного программного управления высокоточными и высокоскоростными актуаторами (линейными приводами), приводящими в движение поршни имитатора дыхания, имитатора потребления кислорода, поршневых дозаторов азота и углекислого газа.



**Рис. 1. Автоматизированный комплекс «Искусственные легкие»**

Сервоусилитель (контроллер актуатора) имеет управляемый аналоговый вход 0...10 В, что позволяет осуществлять управление линейным приводом от внешнего программируемого логического контроллера.

Существует 2 режима функционирования клапанов и приводов: режим ВДОХ и режим ВЫДОХ.

В режиме ВЫДОХ трехходовые отсечные клапаны FV3 и FV4 находятся в положении забора требуемого количества углекислого газа и азота, которое необходимо ввести в контур дыхания в режиме ВДОХ (требуемое количество рассчитывается контроллером по программе на каждом цикле ВДОХ-ВЫДОХ).

В режиме ВДОХ клапаны FV3 и FV4 переключаются и линейные приводы 6.1, 6.2, 6.4 двигаются синхронно с приводом 6.3 имитатора дыхания 1.

Одновременно с началом режима ВДОХ трехходовой клапан FV5 переключается на забор отмеренного количества азота и углекислого газа, клапаны FV7, FV8 открываются, FV6 – закрывается, а трехходовой клапан FV9 переключается на отбор требуемого (в соответствии с программой расчета) количества дыхательной смеси.

При переключении в режим ВЫДОХ происходит обратный процесс, при этом трехходовой клапан FV9 переключается на линию сброса дыхательной смеси, отобранной имитатором потребления кислорода 2 в режиме ВДОХ.

Нижний уровень автоматизированной системы управления построен на базе промышленного контроллера WinPAC-8847, модулей сбора данных и управления (модули УСО) серии I-8000, блока питания, сервоусилителей, промежуточных реле. Перечисленное оборудование установлено в шкафу со степенью защиты IP-31.

Промышленный контроллер осуществляет:

- обработку программы, реализующую пневмотахограмму дыхания в виде синусоидальной кривой, трапеции, треугольника и др. с возможностью изменения в реальном времени амплитуды (глубины) и частоты дыхания и позволяющую имитировать полное потребление кислорода человеком (по объему и массе);

- формирование команд управления актуаторами, приводящими в движение поршни имитатора дыхания, имитатора потребления кислорода, дозаторов азота и углекислого газа;

- регулирование температуры после холодильника и нагревателя;

- стабилизацию давления в резервуарах 10 и 11;

- контроль температуры, влажности, концентраций кислорода и углекислого газа вдыхаемой и выдыхаемой газовых смесей.

На верхнем уровне располагается автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, которое выполнено на базе PC-совместимого компьютера с использованием SCADA-системы Trac Mode 6.

Задачами АРМ оператора являются:

- сбор, регистрация, хранение и архивирование информации, поступающей от контроллера;

- представление текущей и исторической информации на дисплее (в виде динамизированных мнемосхем, таблиц, трендов);

- задание режима проведения эксперимента – параметров кривой эпюры дыхания: частоты, глубины дыхания, или выбор из заранее predetermined режимов, хранящихся в базе данных;

- задание плана проведения экспериментов (изменение параметров эпюры дыхания во времени) с целью имитации последовательности режимов работы (тяжелая работа, легкая работа, сон, и т.п.);

- защита от несанкционированного доступа и предоставление различных прав пользователям;

- генерация отчетов и протоколов.

Для изучения работы ИДА практическое значение имеют процессы, происходящие при так называемом внешнем, или легочном дыхании, к которым относятся вентилирование легких человека поступающим в них воздухом и процессы газо-, тепло- и влагообмена между вдыхаемым и выдыхаемым воздухом [2, 3].

Совокупность взаимосвязанных значений параметров, характеризующих процесс дыхания, называется дыхательным режимом. В работе [3] показано, что дыхательный режим может быть представлен набором следующих наиболее важных параметров:

- частотой дыхания  $n$  (число циклов вдох–выдох в единицу времени);

- выделением диоксида углерода  $w_c$  (дм<sup>3</sup>/мин), которое напрямую связано с величиной физической нагрузки, выполняемой человеком;
- дыхательным коэффициентом  $K_{\text{дых}} = w_c/w_s$ , где  $w_s$  – поглощение (потребление) кислорода, дм<sup>3</sup>/мин.

- величиной легочной вентиляции  $w_l$ , которая представляет собой объем воздуха, вентилирующийся в легких в единицу времени.

При изучении внешнего дыхания человека для инженерных расчетов и оценки дыхательных аппаратов для горнорабочих и горноспасателей в свое время была принята дискретная система дыхательных режимов, включающая 15 энергетических уровней дыхания (при различном физическом напряжении человека) [2, 3]. Система содержит 15 основных и 90 дополнительных дыхательных режимов, охватывающих диапазон дыхания человека как по энергетическому уровню, так и по индивидуальным отклонениям отдельных параметров.

Математическое обеспечение интеллектуальной системы управления комплексом строится по модульному принципу и включает модули обработки измерительной информации (МОИИ); модуль формирования команд управления актуаторами и клапанами (МФКУ); модули формирования параметров дыхания человека (вид пневмотахограммы дыхания,  $w_l$ ,  $K_{\text{дых}}$  и  $n$ ) (МФПД); модули, содержащие математические модели испытываемых ИДА (ММ ИДА); модули оценки функционирования испытываемых ИДА (МОФ ИДА) и др.

Структура математического обеспечения комплекса интеллектуальной системы управления комплексом «Искусственные легкие» представлена на рис. 2.

Модуль формирования команд управления актуаторами и клапанами описывается зависимостями:

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{D}_1(\mu, w_c, w_l, K_{\text{дых}}, n, t);$$

$$\mathbf{s}(t) = \mathbf{D}_2(\mu, w_c, w_l, K_{\text{дых}}, n, t),$$

где  $\mathbf{u}(t)$ ,  $\mathbf{s}(t)$  – вектор-функции управлений актуаторами и клапанами соответственно;  $\mu$  – определяет вид пневмотахограммы (синусоида, треугольник, трапеция).

Модуль предназначен для выработки соответствующих управляющих воздействий, обеспечивающих полную (по массе и объему) имитацию потребления кислорода человеком при различных дыхательных режимах и различных соотношениях потребления кислорода и выделения диоксида углерода.

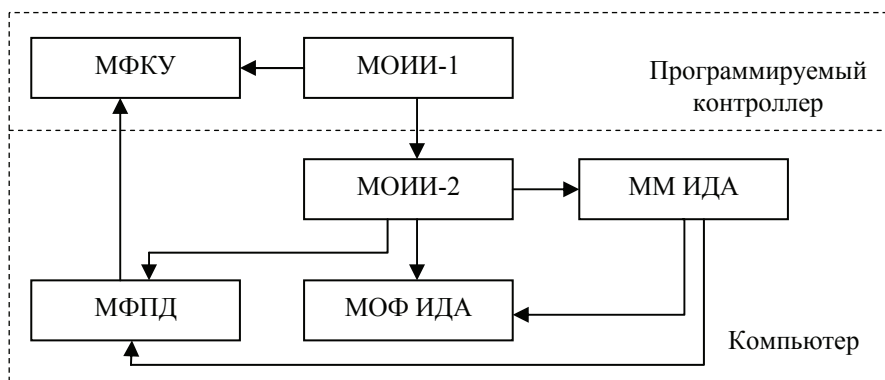


Рис. 2. Структура математического обеспечения интеллектуальной системы управления комплексом «Искусственные легкие»

Модуль формирования параметров дыхания человека предназначен для задания величин  $w_c$ ,  $w_d$ ,  $K_{\text{дых}}$ ,  $n$  в соответствии с планом проведения экспериментов, который позволяет имитировать последовательность режимов работы человека (тяжелая работа, легкая работа и др.). В простейшем случае модуль формализует данные о совокупности дыхательных режимов. При этом модуль может представляться как статическая детерминированная аналитическая экспертная система, относящаяся к классу классифицирующих интеллектуальных информационных систем.

По существующей классификации [4] и способу формирования решения экспертные системы разделяются на два класса: аналитические и синтетические. Аналитические системы предполагают выбор решений из множества известных альтернатив (определение характеристик объектов), а синтетические системы – генерацию неизвестных решений (формирование объектов).

По способу учета временного признака экспертные системы могут быть статическими или динамическими. Статические системы решают задачи при неизменяемых в процессе решения данных и знаниях, динамические системы допускают такие изменения.

По видам используемых данных и знаний экспертные системы классифицируются на системы с детерминированными (четко определенными) знаниями и неопределенными знаниями.

Существенным недостатком существующих установок «Искусственные легкие» является тот факт, что параметры дыхания могут задаваться только вручную оператором. В реальных условиях использования ИДА параметры дыхания человека и характеристики ИДА тесно связаны друг с другом [2]. Известно также, что помимо физической нагрузки параметры дыхания людей сильно зависят от возраста, веса и т.д., что вносит в характеристики дыхания, создаваемого в комплексе «Искусственные легкие», существенную неопределенность.

Для учета влияния характеристик ИДА на параметры дыхания и снижения степени неопределенности модуль формирования параметров дыхания человека комплекса «Искусственные легкие» может быть построен как экспертная система в классе доопределяющих интеллектуальных информационных систем.

Важной особенностью интеллектуальной системы управления испытательным комплексом «Искусственные легкие» является широкое использование математических моделей индивидуальных дыхательных аппаратов при принятии решений при определении параметров дыхания человека в модуле МФПД (в случае построения доопределяющей интеллектуальной информационной системы) с целью учета влияния характеристик ИДА, а также при принятии решения об оценке качества ИДА (модуль МОФ ИДА).

При программно-технической реализации математического обеспечения модули МФКУ и МОИИ-1 реализуются средствами разработки программного обеспечения ISaGRAF и функционируют в промышленном программируемом контроллере WinPAC-8847. Модуль МОИИ-1 функционирует в рамках автоматизированного рабочего места оператора, разработанного в SCADA-системе Trace Mode 6. Модули МФПД, МОФ ИДА и ММ ИДА могут быть реализованы как средствами Trace Mode 6, так и как внешние приложения с организацией связи с АРМ оператора по стандартным интерфейсам DDE и ODBC.

Улучшение динамических и точностных характеристик (за счет применения высокоскоростных и высокоточных линейных приводов и поршневых дозаторов) испытательного комплекса, увеличение числа контролируемых параметров (температуры, концентрации, влажности) вдыхаемой и выдыхаемой газодыхательной

смеси, использование интеллектуальной системы управления позволят существенно расширить функциональные возможности испытательного комплекса, добиться максимального приближения параметров дыхания в испытательном комплексе к параметрам дыхания человека, максимально автоматизировать процесс оценки качества исследуемых ИДА.

*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. Иванов, А.М. Имитационное моделирование комплекса «Искусственные легкие» / А.М. Иванов, П.М. Оневский, А.А. Третьяков // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 3.1(45). – С. 143–146.
2. Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования : учеб. пособие / С.В. Гудков [и др.]. – М. : Машиностроение, 2008. – 188 с.
3. Диденко, Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ / Н.С. Диденко. – М. : Недра, 1990. – 160 с.
4. Телков, А.Ю. Экспертные системы : учеб. пособие / А.Ю. Телков. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. – 83 с.

---

## **Analysis of Approaches to the Construction of Intelligent Control System for Test Facility “Artificial Lungs”**

**I.A. Elizarov<sup>1</sup>, A.M. Smolin<sup>2</sup>, V.Yu. Kharchenko<sup>1</sup>**

*Department “Information Processes and Control”, TSTU (1);  
State Research Institute of Chemical Analysis, St. Petersburg (2);  
ipu@ahp.tstu.ru*

**Key words and phrases:** external human respiration; individual breathing apparatus; intelligent control system; test facility “Artificial lungs”.

**Abstract:** The paper describes an improved scheme of test facility “Artificial lungs” using a high-speed and high-precision linear actuators and intelligent control systems that adequately simulate the human breath when testing self-contained breathing apparatus. The composition and approaches to the construction of software test system “Artificial lungs” have been presented.

---

## **Analyse der Herangehen zu der Konstruktion des intellektuellen Steuersystemes der Testkomplex “künstliche Lungen”**

**Zusammenfassung:** Es ist das vervollkommnete Schema des Testkomplexes “Künstliche Lungen” unter Ausnutzung der Hochgeschwindigkeits- und hochgenauen linearen Antriebe und des intellektuellen Steuersystemes, das adäquat die Atmung des Menschen beim Test der isolierenden Atmungsapparate imitiert, angeboten. Es wird den Bestand und das Herangehen zu der Konstruktion der mathematischen Versorgung des Testkomplexes “Künstliche Lungen” angeführt.

## **Analyse des approches envers la construction du système de la commande du complexe d'essais "Poumons artificiels"**

**Résumé:** Est proposé le schéma amélioré du complexe d'essais "Poumons artificiels" avec l'emploi des commandes linéaires de haute vitesse et de haute précision ainsi que du système intellectuel de commande imitant de la manière adéquate la respiration de l'homme lors des essais des appareils isolants de respiration. Sont citées la composition et les approches envers la programmation du complexe d'essais "Poumons artificiels".

---

**Авторы:** *Елизаров Игорь Александрович* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; *Смолин Александр Михайлович* – младший научный сотрудник ОАО «Государственный научно-исследовательский химико-аналитический институт», г. Санкт-Петербург; *Харченко Владимир Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

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

---