

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ ИМИТАЦИИ ИЗОЛИРУЮЩИХ ДЫХАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А. Ю. Захаров<sup>1</sup>, А. Д. Обухов<sup>2</sup>, Д. Л. Дедов<sup>3</sup>

*Кафедры: «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» (1),  
«Системы автоматизированной поддержки принятия решений» (2),  
центр коллективного пользования «Цифровое машиностроение» (3),  
obuhov.art@gmail.com; ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия*

**Ключевые слова:** изолирующие дыхательные аппараты; система имитации процессов дыхания; структурно-параметрический синтез; тренажерные комплексы.

**Аннотация:** На основе анализа требований к разрабатываемой системе поставлена задача структурно-параметрического синтеза системы имитации изолирующих дыхательных аппаратов, входящих в состав тренажерных комплексов для шахтеров. Приведено ее решение в виде структурной модели выбранных элементов, их параметров, рассчитана эффективность от использования полученного решения. Рассмотрено программное и аппаратное обеспечение системы имитации изолирующих дыхательных аппаратов.

---

### Введение

Современное развитие промышленности предъявляет высокие требования к уровню квалификации персонала в связи с активным внедрением уникальных инновационных технологий, современного высокотехнологичного оборудования, а также компьютеризации производственных процессов. Проблема подготовки профессиональных кадров и постоянного повышения уровня их квалификации актуальна также, как и проблема их подготовки к действиям в условиях возможных аварийных ситуаций.

Обеспечение безопасности особенно актуально для производственных объектов, в число которых входят предприятия топливно-энергетического комплекса, производственные объекты, добывающие полезные ископаемые и работающие с химическими реагентами разного рода. Аварии на таких предприятиях могут нанести непоправимый вред здоровью сотрудников [1, 2].

В связи с невозможностью отслеживания требуемых физических показателей обучаемых на реальных образцах оборудования, для осуществления полного контроля над процессом обучения в тренировочных комплексах оправдано и оптимально использование инструментария имитационного моделирования, который позволяет задавать и конспектировать процесс обучения.

Аварийные ситуации, например, в горнодобывающей промышленности, связаны с образованием непригодной для дыхания атмосферы. Основным средством защиты персонала угледобывающих предприятий являются изолирующие дыхательные аппараты (ИДА) – самоспасатели [3]. Они предназначены для индивидуальной защиты органов дыхания и зрения человека от токсичных продуктов горения при эвакуации во время аварии. Правильное использование самоспасателя

позволяет продлить защитное действие до заявленного, что значительно снижает число пострадавших в условиях ЧС.

Для повышения и поддержания общего уровня безопасности на производственных объектах различного типа необходимо проведение систематических тренировок в реальных или максимально приближенных к реальным условиям. При проведении тренировок на реальных образцах ИДА возникает большое количество недочетов, вызванное наличием пробелов в знаниях, отсутствием опыта их использования. Экзотермический процесс внутри мешка самоспасателя можно назвать «черным ящиком», процесс выделения тепла сложен для описания, а скорость дыхания каждого обучаемого невозможно предсказать аналитически. Определить количество вдыхаемого/выдыхаемого обучаемым воздуха на реальном образце ИДА затруднительно, как и оценить правильность техники дыхания в самоспасателе, так как это не предусмотрено их конструкцией.

Кроме очевидной высокой стоимости одноразовых ИДА, существенным недостатком использования реального оборудования является повышение класса опасности работ и сложности при получении разрешения на создание обучающих центров. Отмечено, что, при явных плюсах обучения персонала на тренировочных комплексах, требуется проведение обучения на реальных образцах и в реальных условиях смоделированной ЧС, как минимум для проверки динамики времени использования ИДА.

Таким образом, применение ИДА (например, самоспасателей) связано с большими материальными затратами, невозможностью отслеживания физических показателей человека в процессе обучения. Для устранения данных недостатков необходимо разработать систему имитации дыхательных аппаратов, включающую оригинальную конструкцию имитатора самоспасателя, необходимое программное обеспечение, позволяющее моделировать различные процессы дыхания, а также отслеживать показатели жизнедеятельности человека [4]. Цель работы – постановка и решение задачи структурно-параметрического синтеза системы имитации ИДА.

### Постановка задачи проектирования системы имитации ИДА

На основании проведенных исследований изменения характеристик определены интервалы изменения сопротивления дыханию и температуры, сформулирована постановка задачи структурно-параметрического синтеза системы имитации ИДА, имеющая следующий вид: необходимо найти вектор параметров системы имитации  $SSB = (S, P, V)$ , при которых критерий оценки экономических затрат процесса обучения на имитаторе ИДА будет стремиться к минимуму:

$$D = R^* + O + DR + A \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $R^*$  – стоимость изготовления имитатора дыхательного аппарата;  $DR$  – транспортные расходы;  $O$  – стоимость обслуживания имитатора дыхательного аппарата, стоимость эксплуатации;  $A$  – амортизация оборудования;  $S, P$  – конструктивные и режимные параметры системы имитации ИДА соответственно;  $V$  – множество показателей, рассчитываемых с использованием системы имитации ИДА;

$$S = (G, M, BG, PW), \quad (2)$$

где  $G, M, BG, PW$  – габариты, масса, объем дыхательного мешка, источник питания имитатора соответственно;

$$P = (T, Q, RP, E), \quad (3)$$

где  $T, Q, RP, E$  – температура газодыхательной смеси (ГДС), расход ГДС, сопротивление дыханию, энергетические затраты в имитаторе соответственно;

$$V = (PG, PTG, SG, TPA), \quad (4)$$

где  $PG, PTG, SG, TPA$  – кардиограмма, пневмотахограмма, спирограмма и время защитного действия, определяемые системой имитации ИДА, соответственно.

Полученное решение должно удовлетворять уравнениям связи в виде математических соотношений (2) – (4) и следующим ограничениям:

1. Отклонение показаний сопротивления дыхания имитатора ИДА от экспериментально полученных значений самоспасателя не должно превышать заданного порога  $\Delta RP$

$$\frac{\sum_{i=0}^t \left( \sqrt{(RP_i - RP_i^*)^2} \right)}{t} \leq \Delta RP. \quad (5)$$

2. Отклонение показаний сопротивления дыханию имитатора ИДА от экспериментально полученных значений самоспасателя не должно превышать заданного порога  $\Delta T$

$$\frac{\sum_{i=0}^t \left( \sqrt{(T_i - T_i^*)^2} \right)}{t} \leq \Delta T. \quad (6)$$

3. Проектируемая система должна быть визуально и тактильно полностью идентична ИДА

$$S \rightarrow S^*. \quad (7)$$

4. Массогабаритные размеры – совпадать с ИДА

$$G = G^*, M = M^*, BG = BG^*. \quad (8)$$

5. Система должна обеспечивать визуализацию тактов вдоха и выдоха.

6. В целях безопасности сенсоры и исполняющие механизмы, смонтированные на имитаторе, должны работать от напряжения не более  $PW_0, В$

$$PW \leq PW_0. \quad (10)$$

7. Система должна обладать следующей функциональностью  $F$

$$F = (F_{PS}, F_{RP}, F_T, F_{TPA}, F_E, F_{TR}), \quad (11)$$

где  $RP^*, T^*$  – экспериментально полученные значения сопротивления дыханию и температуры ГДС в самоспасателе;  $F_{PS}$  – обеспечение функций контроля физического состояния обучаемого: построение пневмотахограмм  $PTG$  и спирограмм  $SG$  дыхания обучаемого, построение пульсограммы  $PG$  обучаемого;  $F_{RP}(LV) = [RP_0; RP_1]$  – изменение сопротивления дыханию при легочной вентиляции  $LV$ , л/мин;  $F_T$  – изменение температуры ГДС в пределах от комнатной  $T_0$  до  $T_1$  °С,  $T = [T_0; T_1]$ ;  $F_{TPA}$  – расчет в реальном времени планируемого времени защитного действия  $TPA$ ;  $F_E$  – расчет в реальном времени текущих энергозатрат  $E$ ;  $F_{TR}$  – формирование рекомендаций о необходимости корректировки процесса

обучения или о возникающих критических моментах по ходу тренинга на основе контролируемых и рассчитанных параметров.

Параметры  $F_{PS}$ ,  $F_{RP}$ ,  $F_T$ ,  $F_{TPA}$ ,  $F_E$ ,  $F_{TR}$  принимают значения 1 при наличии в системе имитации ИДА соответствующей функциональности, иначе равны 0.

Для решения поставленной задачи использовался ранее разработанный алгоритм структурно-параметрического синтеза [5].

### Решение задачи структурно-параметрического синтеза системы имитации ИДА

В рамках данного исследования поставлена задача разработки системы имитации ИДА, применяемой в тренажерном комплексе для обучения шахтеров. Для решения задачи структурно-параметрического синтеза на первом этапе определим массогабаритные размеры самоспасателя ШСС–ТМ:

$$G^* = (\text{Ш, В, Г});$$

$$M^* = 2,85 \text{ кг};$$

$$BG^* = (\text{объем, форма, материал}).$$

Для обеспечения наибольшего соответствия внешнего вида имитатора реальному самоспасателю предлагается использовать в качестве корпуса имитатора ИДА корпус самоспасателя ШСС–ТМ.

Рассмотрим требования к функциональности:

$F_{PS}$  – обеспечение функций контроля физического состояния обучаемого: построение пневмотахограмм  $PTG$  и спирограмм  $SG$  дыхания обучаемого, построение пульсограммы  $PG$  обучаемого;

$F_{RP}$  – обеспечение изменения сопротивления дыханию в следующих пределах:

$$F_{RP}(35) = [300; 800], \quad F_{RP}(70) = [800; 2000];$$

$F_T$  – обеспечение изменения температуры ГДС в пределах от комнатной  $T_0$  до 60 С,  $T = [T_0; 60]$ ;

$F_{TPA}$  – расчет в реальном времени планируемого времени защитного действия  $TPA$ ;

$F_E$  – расчет в реальном времени текущих энергозатрат  $E$ ;

$F_{TR}$  – формирование рекомендаций о необходимости корректировки процесса обучения или о возникающих критических моментах по ходу тренинга на основе контролируемых и рассчитанных параметров.

Допустимая погрешность:

$$\sum_{i=0}^t \left( \sqrt{\frac{(RP_i - RP_i^*)^2}{t}} \right) \leq \Delta RP, \quad \Delta RP = 50 \text{ Па};$$

$$\sum_{i=0}^t \left( \sqrt{\frac{(T_i - T_i^*)^2}{t}} \right) \leq \Delta T, \quad \Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}.$$

В соответствии с полученными ограничениями сформулирована структурная модель системы имитации ИДА (рис. 1).

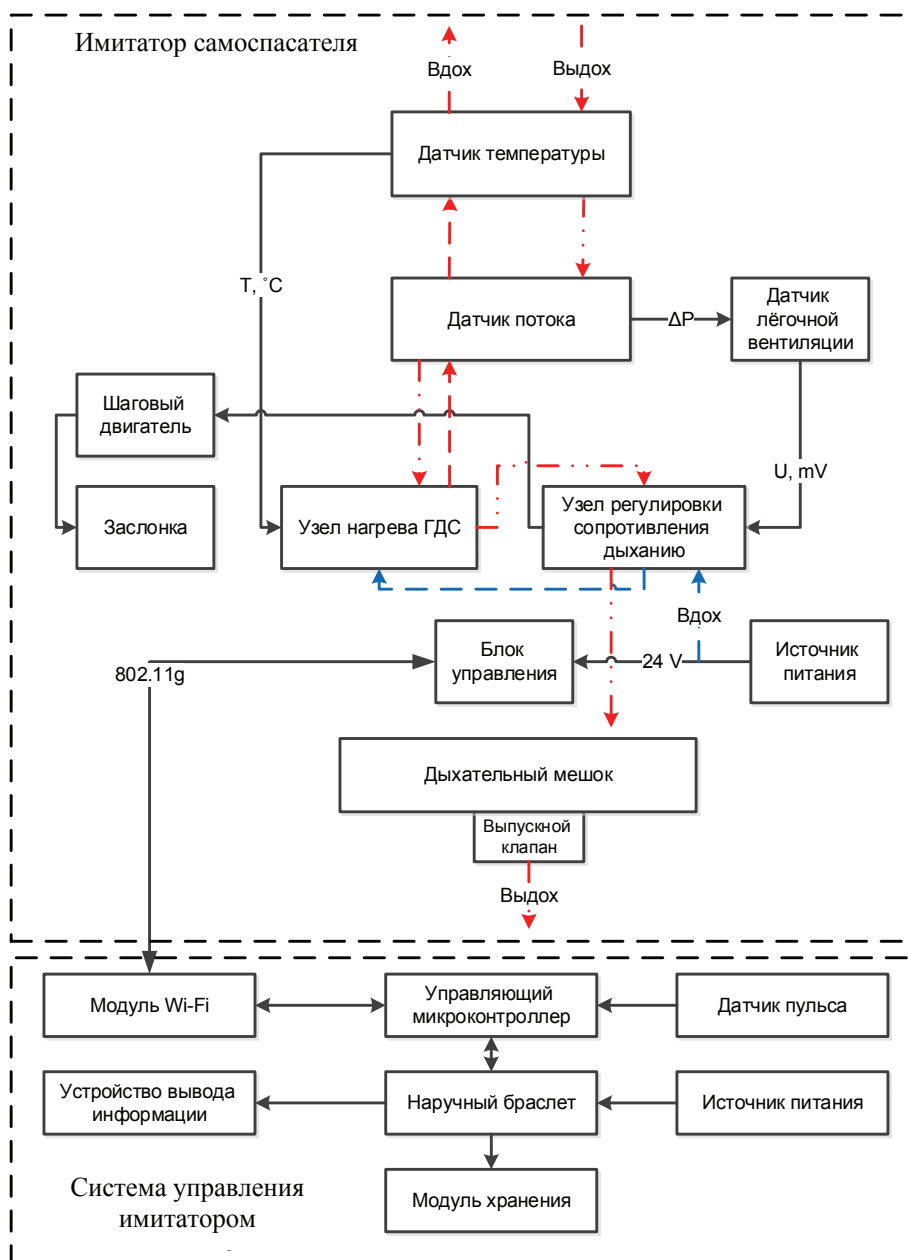


Рис. 1. Структурная модель системы имитации ИДА

*Наручный браслет.* Программно-аппаратный комплекс в виде наручного компьютера с возможностью хранения данных и воспроизведения текстовой, графической или звуковой информации. Может быть реализован на базе микроконтроллеров либо на готовой платформе – наручных смарт-часов на базе Android или иной операционной системы.

*Управляющий микроконтроллер.* Включает всю необходимую бизнес-логику системы управления имитатором, используется для передачи данных с датчиков на устройство вывода. Может являться частью платы наручного браслета в зависимости от его реализации.

*Датчик пульса.* Возможно использование отдельного датчика пульса, подключаемого к микроконтроллеру, либо интеграция встроенного в наручный браслет датчика в систему управления. Второй вариант предпочтительнее, так как является более компактным.

*Модуль Wi-Fi.* Отдельный модуль, размещаемый на плате микроконтроллера, используется для получения информации с блока управления имитатора самоспасателя о текущем сопротивлении дыханию, температуре ГДС, других параметрах. Также используется для передачи управляющих сигналов на имитатор. Может быть частью наручного браслета.

*Источник питания.* Внешняя батарея для наручного браслета, обеспечивающая необходимое время работы системы управления. Возможен вариант использования встроенного в наручный браслет источника питания, если его емкость обеспечивает требуемый объем работы.

*Устройство вывода информации.* Дисплейный модуль, получающий информацию от микроконтроллера. Данные должны визуализироваться в понятном для пользователя формате. Также на экране необходимо отобразить управляющие элементы – кнопки и регулировочные элементы, взаимодействие с которыми преобразуется в управляющие сигналы для имитатора.

*Модуль хранения.* Встроенная или внешняя flash-память, используемая для записи и чтения файлов, содержащих полную информацию обо всем процессе обучения на имитаторе. Данный тип памяти наиболее компактен, энергоэффективен и распространен.

Модуль сбора и хранения данных является стандартным компонентом любой информационной системы и включает в себя базу данных, а также набор программных интерфейсов по добавлению, редактированию и удалению информации из нее. Кроме того, в состав модуля входит электронный архив записей с имитатора ИДА, позволяющих впоследствии осуществить анализ динамики обучения пользователя, выявить степень сформированности необходимых компетенций, допущенные в ходе выполнения упражнений ошибки.

*Модуль расчета сопротивления дыханию.* Содержит программное обеспечение, получающее на основе данных от имитатора ИДА текущее сопротивление дыхания. Расчет осуществляется по заданным эмпирическим формулам с учетом поправочных коэффициентов. Полученное значение передается на устройство вывода системы управления имитатором.

*Модуль расчета изменения температуры.* Включает программное обеспечение, определяющее текущую температуру нагревателя имитатора и температуру вдыхаемого человеком воздуха на основе данных, полученных от имитатора и датчика температуры. Расчет осуществляется по заданным эмпирическим формулам с учетом поправочных коэффициентов. Полученное значение передается на устройство вывода системы управления имитатором.

*Модуль расчета времени защитного действия.* На основе текущего и общего потребления ГДС пользователем и данных об используемых ИДА эмпирически определяется время защитного действия для каждого пользователя в текущий момент времени. Данная оценка позволяет сразу определить ошибки в процессе взаимодействия с имитатором и неправильном механизме дыхания. Полученное значение сохраняется в базу данных и используется в дальнейшем для оценки динамики развития обучаемого.

*Модуль расчета сопротивления имитатора.* Содержит программное обеспечение, используемое для расчета общего сопротивления имитатора. Для расчетов применяются методы математического моделирования. Полученные данные визуализируются, что позволяет смоделировать процессы движения ГДС по имитатору.

На основе полученной структуры далее осуществлена программно-аппаратная реализация системы имитации ИДА.

## Программная и аппаратная реализация системы имитации ИДА

На основе поставленной задачи осуществлен синтез системы имитации, реализовано программно-аппаратное обеспечение имитатора ИДА [6, 7]. Проведена серия экспериментов с различными размерами проходного сечения, на основе которых сделан вывод, что разработанная конструкция имитатора без разделения тактов вдоха и выдоха удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к ИДА по обеспечению заданного уровня сопротивления дыханию. Аппаратное обеспечение системы имитации состоит из нескольких модулей: нагрева, изменения сопротивления дыханию, отслеживания физических показателей (рис. 2).

На схеме приняты следующие обозначения: 1 – корпус камеры нагревательной; 2 – блок нагревателей; 3 – крышка камеры нагревательной; 4 – корпус заслонки; 5 – двигатель шаговый; 6 – заслонка; 7 – рейка зубчатая; 8 – колесо зубчатое; 9 – заглушка заслонки; 10 – фланец датчика потока; 11 – диафрагма; 12, 13 – штуцер и патрубок датчика потока соответственно.

Работа с программным обеспечением системы имитации ИДА осуществляется посредством интерфейса системы обучения через переднюю панель, внешний вид которой представлен на рис. 3. На передней панели расположены основные органы управления имитатором и средства отображения информации о процессе обучения и физическом состоянии обучаемого.

Проведено экспериментальное подтверждение адекватности используемых математических гидродинамических моделей. В рамках эксперимента на промышленных ИДА получены данные, которые соответствовали результатам, полученным при расчете математической модели системы с отклонением не более 5 % (рис. 4).

Расчет критерия оценки экономических затрат показал, что предлагаемая конструкция без разделения тактов вдоха-выхода экономически более предпочтительна (себестоимость ниже на 12 %, 57 000 р. для выбранной конструкции, 63 800 для конструкции с разделением тактов).

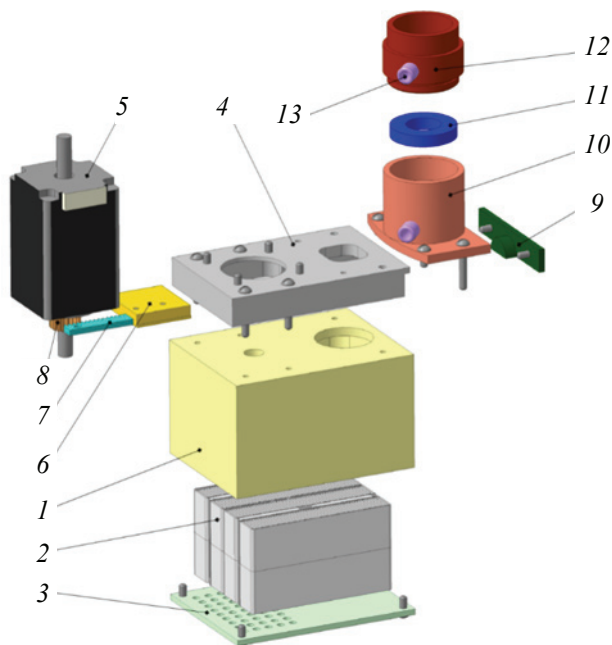


Рис. 2. Структура аппаратного обеспечения системы имитации ИДА

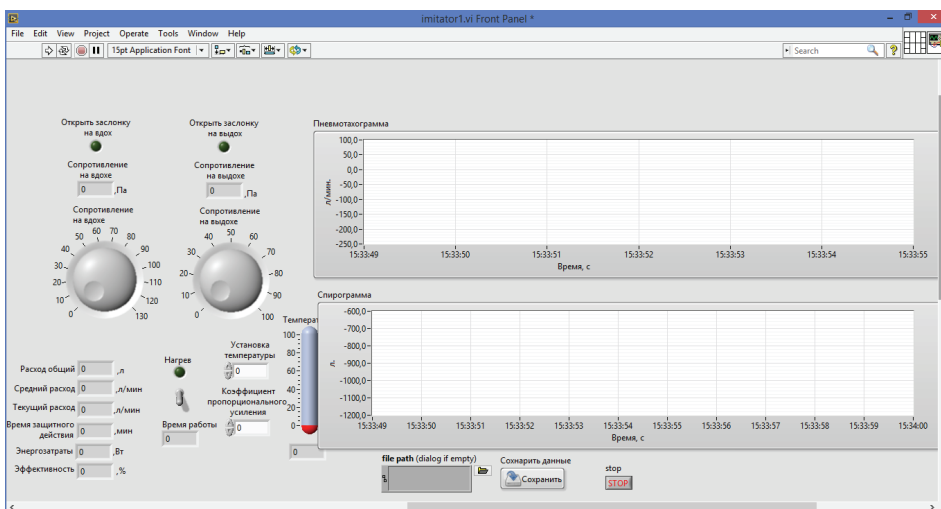


Рис. 3. Интерфейс системы имитации ИДА

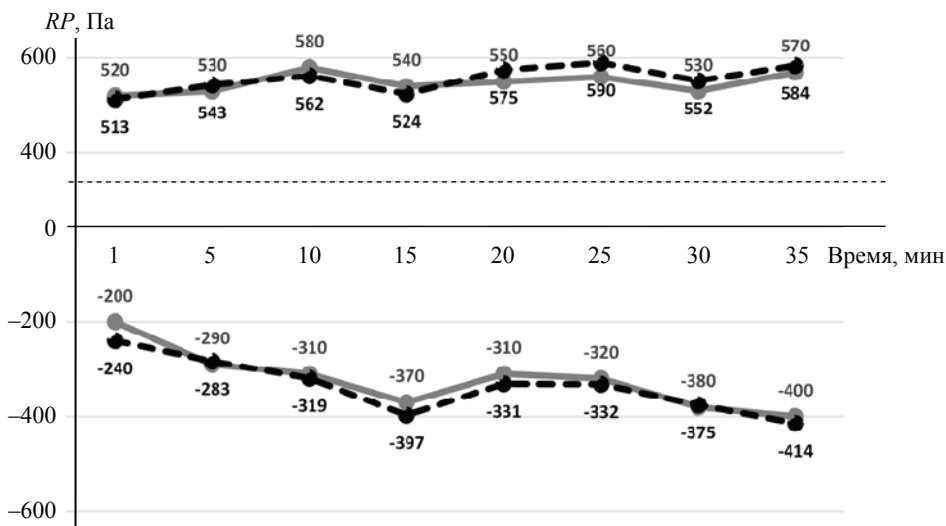


Рис. 4. Графики сопротивления дыханию на вдохе / выдохе (соответственно вверх / вниз):

----- для ИДА; — для системы имитации ИДА

Таким образом, разработанная система имитации может использоваться для моделирования различных режимов дыхания в рамках программно-аппаратной платформы тренажерного комплекса.

### Заключение

Представлена постановка и решение задачи структурно-параметрического синтеза для системы имитации ИДА. В рамках поставленной задачи возможно нахождение структур и параметров имитатора ИДА, удовлетворяющего массогабаритным условиям, требованиям к диапазонам нагрева ГДС и сопротивления дыханию, функциональности. На первом этапе решения задачи сформулирована



общая структура системы, после чего уточнены ее параметры в виде конкретных элементов и их настроек. С помощью установки искусственных легких получены граничные условия для обеспечения точности моделирования процесса использования самоспасателя. Полученный в ходе решения задачи программно-аппаратный комплекс позволяет не только снизить экономические затраты за счет исключения самоспасателей из процесса тренировки, но и повысить эффективность подготовки в ходе анализа процесса дыхания обучаемого.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-07-00660 с использованием вычислительного оборудования ЦКП «Цифровое машиностроение».*

#### *Список литературы*

1. Плетенецкий, Р. С. Защита обслуживающего персонала от пожарных газов при эвакуации людей / Р. С. Плетенецкий // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2017. – № 4 (126). – С. 81 – 84.
2. Mobile Robots in Mine Rescue and Recovery / R. R. Murphy [et al.] // IEEE Robotics & Automation Magazine. – 2009. – Vol. 16, No. 2. – P. 91 – 103.
3. Немцев, А. В. Актуальные вопросы применения изолирующих промышленных самоспасателей. Часть 1. Самоспасатели на химически связанном кислороде / А. В. Немцев, Э. М. Вэстморлэнд // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 2. – С. 62 – 66.
4. Погонин, В. А. Системы имитации дыхания человека / В. А. Погонин, И. А. Канавалов // Развитие технических наук в современном мире : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф., 11 декабря, 2017 г., г. Воронеж. – Воронеж, 2017. – С. 15 – 18.
5. Постановка задачи проектирования виртуальных тренажерных комплексов для обучения операторов технических систем / Д. Л. Дедов [и др.] // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2012. – № 2. – С. 46 – 50.
6. New Mobile Wireless Imitator of Mine Insulating Self-Rescuer / S. A. Karpov [et al.] // Proceedings 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 02 – 08 July, 2018, Sofia, Bulgaria. – Sofia, 2018. – Vol. 18. – P. 33 – 40.
7. Development of Algorithmic and Mathematical Support of Adaptive Training Complexes / D. L. Dedov [et al.] // Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 02 – 08 July, 2018, Sofia, Bulgaria. – Sofia, 2018. – Vol. 18. – P. 279 – 286.

---

### **Statement of the Problem of Structural-Parametric Synthesis of Self-Contained Breathing Apparatus Simulation**

**A. Yu. Zakharov<sup>1</sup>, A. D. Obukhov<sup>2</sup>, D. L. Dedov<sup>3</sup>**

*Department of Computer-Integrated Systems in Mechanical Engineering (1),*

*Department of Systems of Automated Decision Support (2),*

*Collective Use Center for Digital Engineering (3),*

*obuhov.art@gmail.com, TSTU, Tambov, Russia*

**Keywords:** self-contained breathing apparatus; system for simulating breathing processes; structural parametric synthesis; training simulators.

**Abstract:** Based on the analysis of the requirements for the developed system, the task of structural parametric synthesis of a system for self-contained breathing apparatus simulation that is part of a training simulator for miners is set. Its solution is presented in the form of a structural model of the selected elements, their parameters, and the effectiveness of using the obtained solution is calculated. The software and hardware of the system for self-contained breathing apparatus simulation are considered.

### References

1. Pletenetskiy R.S. [Protection of staff from fire gases during the evacuation of people], *Vestnik Donbasskoy natsional'noy akademii stroitel'stva i arkhitektury* [Bulletin of the Donbass National Academy of Construction and Architecture], 2017, no. 4 (126), pp. 81-84. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Murphy R.R., Kravitz J., Stover S.L., Shoureshi R. Mobile Robots in Mine Rescue and Recovery, *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 2009, vol. 16, no. 2, pp. 91-103.
3. Nemtsev A.V., Vestmorlend E.M. [Actual issues of the use of insulating industrial self-rescuers. Part 1. Self-rescuers on chemically bound oxygen], *Bezopasnost' truda v promyshlennosti* [Labor safety in industry], 2013, no. 2, pp. 62-66. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Pogonin V.A., Kanavalov I.A. *Razvitiye tekhnicheskikh nauk v sovremennom mire: sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Development of technical sciences in the modern world: a collection of works of the International scientific and practical conference], 11 December, 2017, Voronezh, 2017, pp. 15-18.
5. Dedov D.L., Krasnyanskiy M. N., Karpushkin S. V., Ostroukh A. V. [Statement of the problem of designing virtual simulator complexes for training operators of technical systems], *Informatsionnyye tekhnologii v proyektirovanii i proizvodstve* [Information technologies in design and production], 2012, no. 2, pp. 46-50. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Karpov S.A., Glebov A., Alexeev S., Arkhipov A., Siukhin A. Proceedings 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 02-08 July, 2018, Sofia, Bulgaria, 2018, vol. 18, pp. 33-40.
7. Dedov D.L., Krasnyanskiy M.N., Obukhov A.D., Alexeev S., Zakharov A. Proceedings of the 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 02-08 July, 2018, Sofia, Bulgaria, 2018, vol. 18, pp. 279-286.

---

## Problemstellung der strukturell-parametrischen Synthese des Simulationssystems der isolierenden Atemgeräte

**Zusammenfassung:** Aufgrund der Analyse der Anforderungen an das System, das entwickelt wird, ist die Aufgabe der strukturell-parametrischen Synthese des Simulationssystems der isolierenden Atemgeräte, die Teil von Trainingskomplexen für Bergleute sind, gestellt. Seine Lösung ist in Form eines Strukturmodells der ausgewählten Elemente und ihrer Parameter dargestellt, die Wirksamkeit der Verwendung der erhaltenen Lösung ist berechnet. Die Software und die Hardware des Systems der Simulation der isolierenden Atemgeräte sind betrachtet.

## **Définition du problème de la synthèse structurale-paramétrique du système de la simulation des appareils respiratoires isolants**

**Résumé:** A la base de l'analyse des exigences envers le système élaboré, est formulée la tâche de synthétiser structurellement et paramétriquement le système de la simulation des appareils respiratoires isolants qui font partie des unités de la formation pour les mineurs. Sa solution est présentée sous la forme d'un modèle structurel des éléments sélectionnés, de leurs paramètres; l'efficacité est calculée à partir de l'utilisation de la solution résultante. Sont examinés le logiciel et le matériel du système de la simulation des appareils respiratoires isolants.

---

**Авторы:** *Захаров Александр Юрьевич* – аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении»; *Обухов Артем Дмитриевич* – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Системы автоматизированной поддержки принятия решений»; *Дедов Денис Леонидович* – кандидат технических наук, директор центра коллективного пользования «Цифровое машиностроение», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

**Рецензент:** *Муромцев Дмитрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», проректор по научно-инновационной деятельности, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.