

*А.А. Ишин, Ю.А. Петров\**

## **ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОГО СТЕНДА «ИСКУССТВЕННЫЕ ЛЕГКИЕ»**

Индивидуальные дыхательные аппараты (ИДА) для защиты органов дыхания изолирующего типа с химически связанным кислородом используются в различных областях в экстремальных ситуациях: на земле и под землей, в космосе и на транспорте, на воде и под водой.

В настоящее время установка «Искусственные легкие» (ИЛ) является основным инструментом для определения характеристик ИДА, что не требует привлечения людей-добровольцев.

Недостатками существующих зарубежных и отечественных установок «Искусственные легкие» являются невозможность изменения формы дыхательной кривой и реализации, математическим и программным обеспечением автоматизированной системы управления установки дыхательного коэффициента меньше 1 (т.е. при снижении производительности регенеративного патрона ИДА).

Испытательный стенд ИЛ состоит из четырех основных блоков: блок подачи диоксида углерода и азота, блок имитации дыхания, блок имитации потребления кислорода (по массе и объему), блок управления [1].

Блок имитации дыхания создает пульсирующий поток газовой дыхательной смеси (ГДС), аналогичный потоку, формируемому легкими человека. Блок работает поочередно в режиме вдоха и выдоха.

Аналогично в двух режимах работает блок имитации потребления кислорода путем сброса части ГДС в атмосферу через соответствующие клапаны. Подача смеси диоксида углерода и азота в имитатор дыхания происходит на стадии вдоха.

Для проведения имитационных исследований функционирования стенда при различных психофизиологических состояниях человека необходимо использовать математическую модель потребления кислорода пользователем ИДА.

---

\* Работа выполнена под руководством канд. техн. наук, доц. ГОУ ВПО ТГТУ П.М. Оневского и канд. техн. наук, доц. ГОУ ВПО ТГТУ А.А. Третьякова.

Основными входными параметрами модели являются: легочная вентиляция  $W_d$  (дм<sup>3</sup>/мин), глубина дыхания  $V_d$  (дм<sup>3</sup>); частота дыхания  $n$  (мин<sup>-1</sup>).

Исходный режим для имитационного моделирования:

- глубина дыхания  $V_d = 1,75$  дм<sup>3</sup>;
- частота дыхания  $n = 20$  мин<sup>-1</sup>;
- подача диоксида углерода  $W_{CO_2}(0) = 1,1$  дм<sup>3</sup>/мин;
- коэффициент дыхания  $K_d = 1$ ;
- объем системы ИЛ  $V_{ил} = 10$  дм<sup>3</sup>.

Задачей исследования является обеспечение заданной концентрации диоксида углерода на входе в ИДА и определение кривых дыхания, реализующих данную концентрацию.

Основные соотношения математической модели:

- подача диоксида углерода за такт вдоха/выдоха:

$$V_{CO_2}(0) = W_{CO_2}(0) / n, \text{ дм}^3;$$

- потребление кислорода за такт вдоха/выдоха:

$$V_{O_2}(0) = W_{CO_2}(0) / K_d, \text{ дм}^3.$$

Состав ГДС в испытательном стенде перед первым циклом вдоха/выдоха принимался равным атмосферному:  $C_{CO_2}$  ИЛ = 0,2%;  $C_{O_2}$  ИЛ = 21%;  $C_{N_2}$  ИЛ = 100 –  $C_{CO_2}$  ИЛ –  $C_{O_2}$  ИЛ = 79,8%.

Объемы газов, поступающих в насос ИЛ для схемы с имитацией потребления кислорода по массе и объему:

$$V_{CO_2} \text{ ИЛ} = C_{CO_2} \text{ атм} \cdot V_d / 100, \text{ дм}^3;$$

$$V_{O_2} \text{ ИЛ} = C_{O_2} \text{ атм} \cdot V_d / 100 - V_{CO_2}, \text{ дм}^3;$$

$$V_{N_2} \text{ ИЛ} = C_{N_2} \text{ атм} \cdot V_d / 100, \text{ дм}^3,$$

где  $C_{CO_2} \text{ атм}$ ,  $C_{O_2} \text{ атм}$ ,  $C_{N_2} \text{ атм}$  – объемные доли газов в атмосферном воздухе, %.

На выдохе соответственно имеем:

$$C_{CO_2}^{\text{выд}} = (V_{CO_2}(0) + C_{CO_2} \text{ ИЛ} \cdot V_{ил} / 100 + V_{CO_2} \text{ ИЛ}) \cdot 100 / (V_{CO_2}(0) + V_{ил} + V_d),$$

$$C_{O_2}^{\text{выд}} = (C_{O_2} \text{ ИЛ} \cdot V_{ил} / 100 + V_{O_2} \text{ ИЛ}) \cdot 100 / (V_{CO_2}(0) + V_{ил} + V_d),$$

$$C_{N_2}^{\text{выд}} = 100 - C_{CO_2}^{\text{выд}} - C_{O_2}^{\text{выд}},$$

где  $C_{CO_2}^{\text{выд}}$ ,  $C_{O_2}^{\text{выд}}$ ,  $C_{N_2}^{\text{выд}}$  – объемные доли газов на выдохе, %.

Далее полученные значения  $C_{CO_2}^{\text{выд}}$ ,  $C_{O_2}^{\text{выд}}$ ,  $C_{N_2}^{\text{выд}}$  подставляются вместо  $C_{CO_2}$  ИЛ,  $C_{O_2}$  ИЛ,  $C_{N_2}$  ИЛ и так далее для других циклов.

На рисунке 1 представлена модель стенда ИЛ, реализованная с помощью пакета моделирования динамических систем Simulink, входящего в состав пакета прикладных программ Matlab.

На рисунках 2 – 4 представлены результаты имитационных исследований. Они характеризуют переходные режимы работы стенда ИЛ для различных заданных концентраций диоксида углерода на входе в ИДА.

На рисунках 3, 4 показаны кривые дыхания, реализующие заданные концентрации диоксида углерода.

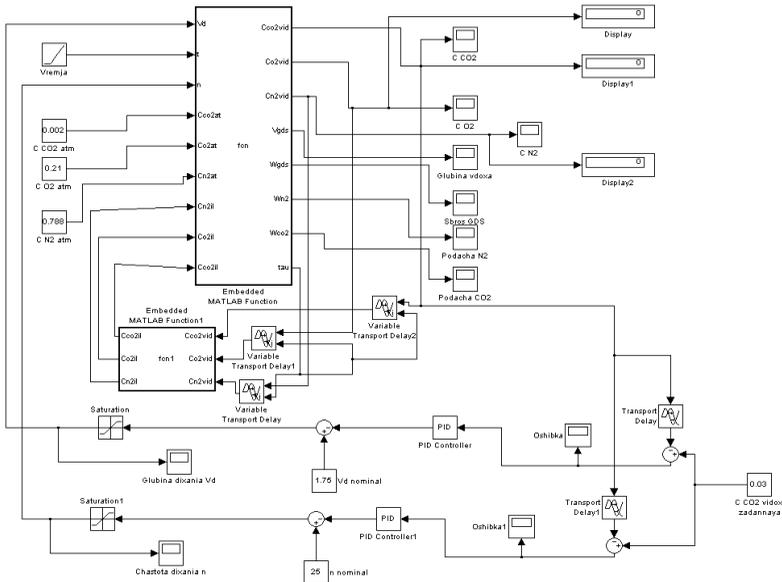


Рис. 1. Simulink-модель стенда ИЛ

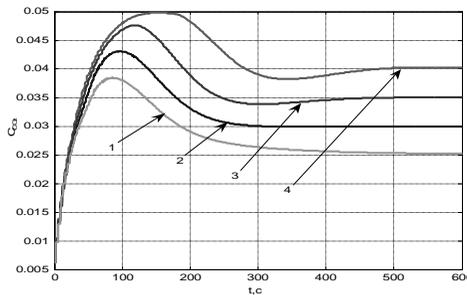
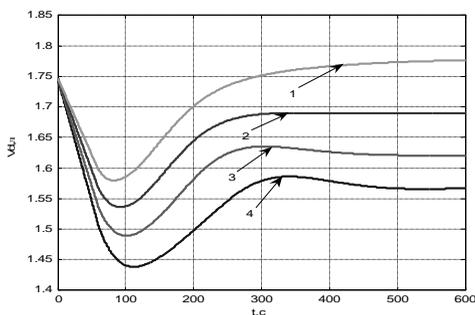


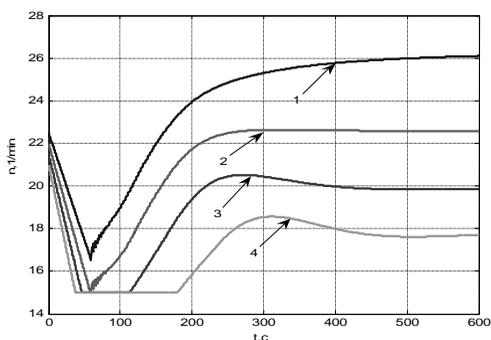
Рис. 2. Концентрация  $\text{CO}_2$  в искусственных легких:

1 –  $C_{\text{CO}_2}^{\text{зад}} = 0,025$ ; 2 –  $C_{\text{CO}_2}^{\text{зад}} = 0,03$ ; 3 –  $C_{\text{CO}_2}^{\text{зад}} = 0,035$ ; 4 –  $C_{\text{CO}_2}^{\text{зад}} = 0,04$



**Рис. 3. Глубина дыхания  $V_d$ , л:**

1 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,025$ ; 2 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,03$ ; 3 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,035$ ; 4 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,04$



**Рис. 4. Частота дыхания  $n$ , 1/min:**

1 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,025$ ; 2 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,03$ ; 3 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,035$ ; 4 –  $C_{CO_2}^{зад} = 0,04$

Полученные результаты могут быть использованы при принятии оптимальных проектных решений на всех этапах разработки и сопровождения ИДА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гудков, С.В. Совершенствование методики испытания изолирующих дыхательных аппаратов с химически связанным кислородом / С.В. Гудков, Д.С. Дворецкий, А.Ю. Хромов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2009. – Т. 15, № 3. – С. 589 – 597.

2. Гераскина, Ю.Г. Модель процесса дыхания живых организмов / Ю.Г. Гераскина // Интеллектуальные системы. – 2004. – Т. 8, вып. 1 – 4. – С. 429 – 456.

*Кафедра «Информационные процессы и управление» ГОУ ВПО ТГТУ*