

УДК 004.021

doi:10.18720/SPBPU/2/id23-506

Шахвалеев Евгений Евгеньевич¹,

студент магистратуры;

Шельгов Сергей Андреевич²,

студент магистратуры;

Ефремов Артём Александрович³,

доцент, канд. физ.-мат. наук, доцент

ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ

^{1, 2, 3} Россия, Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,

¹ shahvaleev.ee@edu.spbstu.ru, ² shelgov.sa@edu.spbstu.ru,

³ artem.efremov@spbstu.ru

Аннотация. В работе разрабатывается информационная модель в замкнутом контуре, для которой необходимо синтезировать такое управляющее воздействие чтобы минимизировать отклонение фазовых координат от заданных параметров. В результате была построена структурная схема системы, составлена математическая модель системы, создана модель вход-состояние-выход, также были проведены эксперименты с дальнейшим анализом полученных результатов.

Ключевые слова: информационная модель, система жизнеобеспечения, регулирование давления, система очистки воздуха.

Evgeny E. Shakhvaleev¹,

Master's Student;

Sergei A. Shelgov²,

Master's Student;

Artem A. Efremov³,

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

INFORMATION MODEL OF THE LIFE SUPPORT SYSTEM

^{1, 2, 3} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,
St. Petersburg, Russia,

¹ shahvaleev.ee@edu.spbstu.ru, ² shelgov.sa@edu.spbstu.ru,

³ artem.efremov@spbstu.ru

Abstract. The paper develops an information model in a closed loop, for which it is necessary to synthesize such a control action in order to minimize the deviation of the phase coordinates from the given parameters. As a result, a structural diagram of the system was

built, a mathematical model of the system was compiled, an input-state-output model was created, and experiments were also carried out with further analysis of the results obtained.

Keywords: information model, life support system, pressure regulation, air purification system.

Введение

Система жизнеобеспечения — это совокупность оборудования, предназначенного для создания в замкнутом пространстве заданных условий жизнедеятельности человека [1].

Система жизнеобеспечения применяется во многих типах замкнутых пространств, например в подводной лодке, бункере, космическом аппарате, самолете, батискафе.

В работе рассмотрена для примера система очистки и регенерации воздуха, а также систему поддержания нормального атмосферного давления в замкнутом пространстве.

1. Постановка задачи

Пусть заданы желаемые параметры x_* и объект

$$x = \begin{bmatrix} M_{gn} & M_{gv} & I_Q & I_D & \omega & \varphi \end{bmatrix}^T,$$

где M_{gn} — масса газа при нагнетании,

M_{gv} — масса газа при всасывании,

I_Q — мгновенные значения тока,

I_D — мгновенные значения тока,

ω — мгновенное значение угловой скорости вращения ротора,

φ — угол перемещение, в диапазоне которых необходимо поддерживать значение системы.

Требуется построить регулятор, чтобы минимизировать отклонение x от заданных желаемых параметров x_* .

Необходимо определить такое управляющие воздействие u_* , что:

$$u_* = \arg \min \{ \varphi(x) = \|x - x_*\| \mid x' = Ax + Bu, A \in R^{n \times n}, r_1 \leq x \leq r_2 \}.$$

2. Структурная схема системы

Общая блок-схема представлена на рисунке (рис.1) [2].

Для поддержания нормального давления используется система из двух насосов, один из которых выполняет забор воздуха из контура из-за чего давление в контуре понижается, а второй насос подает кислород в контур и давление повышается.

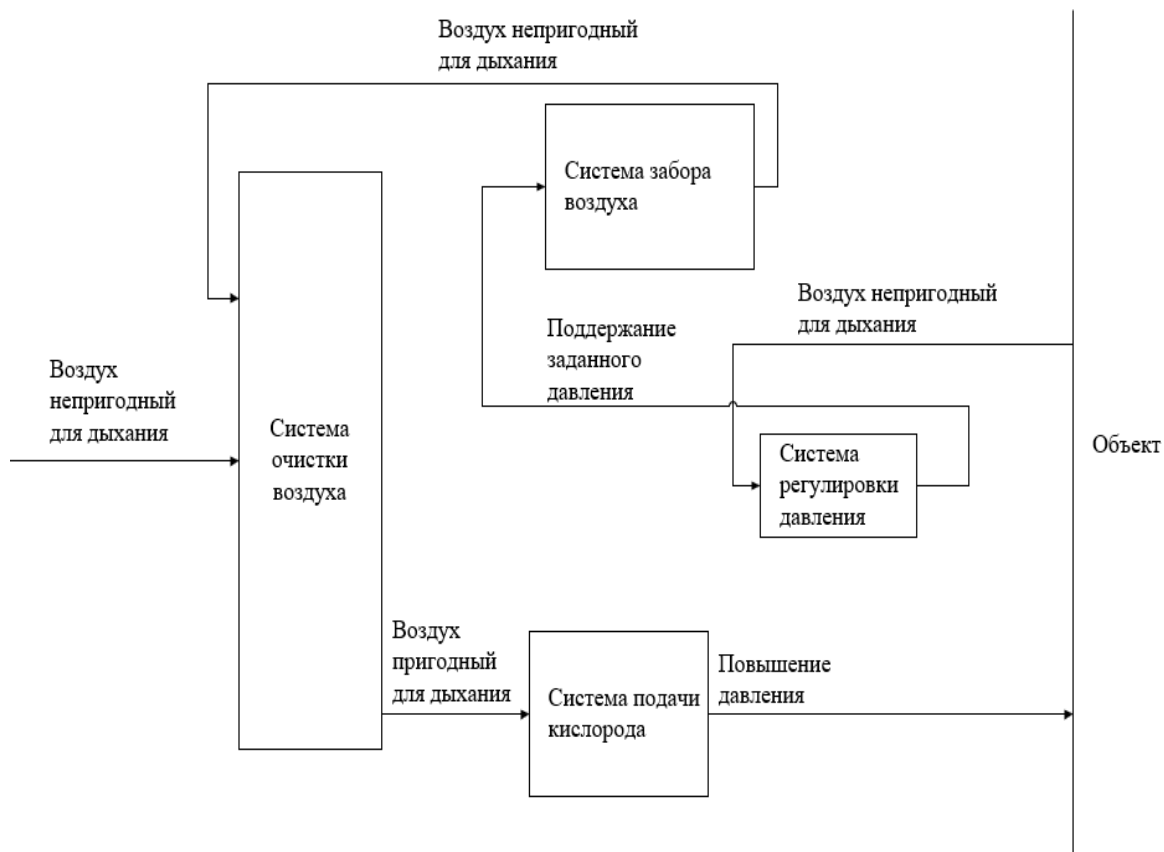


Рис.1. Диаграмма вход-выход

За подачу кислорода отвечает система регенерации воздуха, в рассмотренном примере используется метод для получения кислорода из воды при помощи электролизера.

3. Математическая модель системы жизнеобеспечения

Ключевыми элементами управления системы являются двигатель и насос, поэтому рассмотрим математическую модель этих элементов.

Рассмотрим процессы сжатия, нагнетания и дифференциальные уравнения асинхронного двигателя [3].

Закон изменения массы заданного газа в процессе нагнетания неизвестен, поэтому, необходимо провести расчеты путем численного интегрирования уравнений расхода через нагнетательный клапан. Таким образом, получим систему уравнений (1) для расчета процесса нагнетания:

$$\left\{ \begin{array}{l} dM_n = \varepsilon_{p_n} \alpha_n F_n \sqrt{2\rho_n(p + p_n)} \frac{d\varphi}{\omega}; \\ T = T_{сж} \left(\frac{V_{сж} M}{V M_{сж}} \right)^{k-1}; \\ p = \frac{MRT}{V}; \\ V = V(\varphi), \end{array} \right. \quad (1)$$

Учитывая, что закон изменения массы в процессе всасывания неизвестен, то для расчета процесса всасывания будем использовать следующую систему уравнений (2):

$$\left\{ \begin{array}{l} dM_\varepsilon = \varepsilon_{p_\varepsilon} \alpha_\varepsilon F_\varepsilon \sqrt{2\rho_\varepsilon(p_\varepsilon + p)} \frac{d\varphi}{\omega}; \\ dT = T \left[\left(1 - k \frac{T_\varepsilon}{T} \right) \frac{dM}{M} - (k-1) \frac{dV}{V} \right]; \\ V = V_M + \frac{V_h}{2} \left[(1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} (1 - \cos 2\varphi) \right]; \\ p = \frac{MRT}{V}, \end{array} \right. \quad (2)$$

Условия работы реального асинхронного двигателя описать аналитически крайне сложно.

Для удобства расчета рассмотрим некоторую идеализированную модель асинхронного двигателя (3) и допустим следующие допущения:

$$\begin{aligned} L_q \dot{i}'_q + M_{aq} \dot{i}'_{yq} &= (-L_d \dot{i}'_d + M_{ad} \dot{i}'_{yd}) \omega - r i'_q + U \cos \theta; \\ L_d \dot{i}'_d + M_{ad} \dot{i}'_{yd} &= (L_q \dot{i}'_q + M_{aq} \dot{i}'_{yq}) \omega - r i'_d - U \sin \theta; \\ M_{aq} \dot{i}'_q + L_{yq} \dot{i}'_{yq} &= -r_{yq} \dot{i}'_{yq}; \\ M_{ad} \dot{i}'_d + L_{yd} \dot{i}'_{yd} &= -r_{yd} \dot{i}'_{yd}; \\ \omega' &= \frac{1}{H} (M - M_c); \\ \theta' &= 1 - \omega. \end{aligned} \quad (3)$$

Объединим систему уравнений для нагнетания (1) с системой уравнений для всасывания (2) с преобразованной в матричный вид системой дифференциальных уравнений асинхронной машины (3) получим общую систему (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} M'_{\text{эн}} = \varepsilon_{p_n} \alpha_n F_n \sqrt{2\rho_n(p + p_n)} \frac{d\varphi}{\omega}; \\ T = T_{\text{сж}} \left(\frac{V_{\text{сж}}}{V} \frac{M}{M_{\text{сж}}} \right)^{k-1}; \\ p = \frac{MRT}{V}; \\ V = V(\varphi); \\ M'_{\text{эв}} = \varepsilon_{p_e} \alpha_e F_e \sqrt{2\rho_e(p_e + p)} \frac{d\varphi}{\omega}; \\ I'_Q = L_Q^{-1}(L_{DQ}I_D + R_Q I_Q + A_1 U); \\ I'_D = L_D^{-1}(L_{QD}I_Q + R_D I_D - A_2 U); \\ \omega' = \frac{1}{H}(M - M_c); \\ \varphi' = 1 - \omega. \end{array} \right. \quad (4)$$

4. Эксперименты с заданными параметрами

Для начала необходимо составить блок-схему алгоритма вычислительного эксперимента (представлена на рисунке 2).

Необходимо составить таблицу с уровнями содержания CO₂ ppm в воздухе и определить, какие уровни подходят для комфортного пребывания в объекте [4].

В таблице 1 представлены различные уровни содержания углекислого газа в воздухе и физиологические проявления у человека при данном уровне содержания.

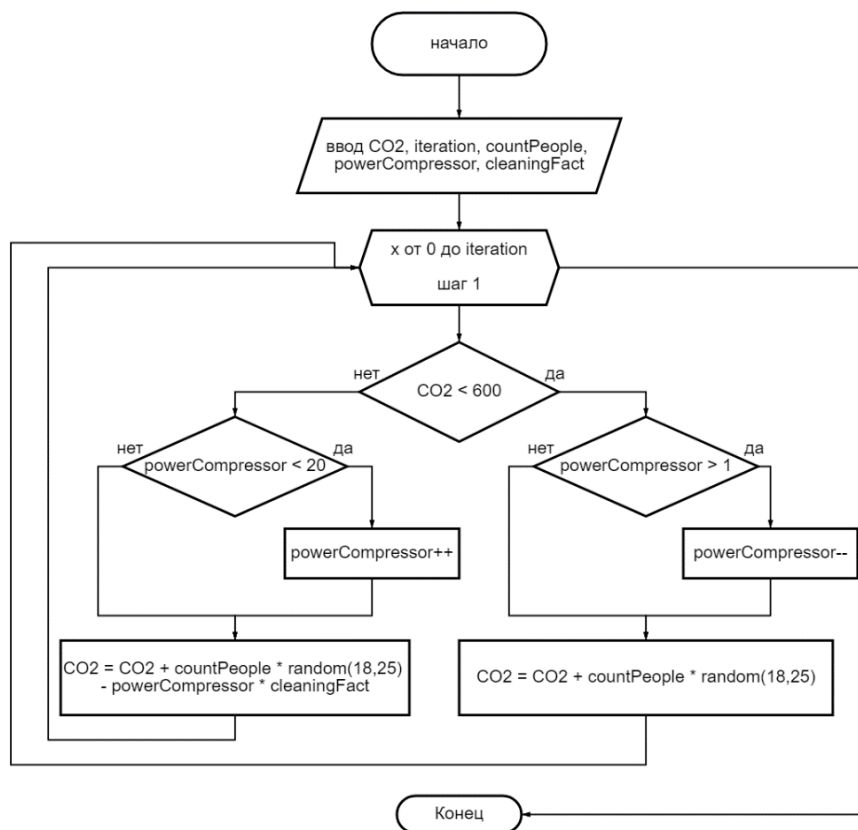


Рис.2. Блок-схема алгоритма

Таблица 1

Уровни содержания CO₂, ppm и физиологические проявления у человека при данном уровне содержания

Уровень CO ₂ , ppm	Физиологические проявления
380 – 400	Идеальный уровень для здоровья и отличного самочувствия человека
400 – 600	Нормальный уровень содержания
600 – 1000	На данном уровне появляются жалобы на качество
Выше 1000	Появляется дискомфорт, слабость, головные боли, концентрация внимания падаем на треть
Выше 2000	Концентрация человека падает на 60 процентов, происходит повышение, а затем снижение возбудимости нервных образований
Выше 3000	Быстро развиваются признаки кислородного голодания, тошнит, учащается пульс

Чтобы провести и визуализировать расчеты, была реализована программа на языке программирования Java с библиотеками для визуального отображения данных, алгоритм которой представлен на рисунке 2.

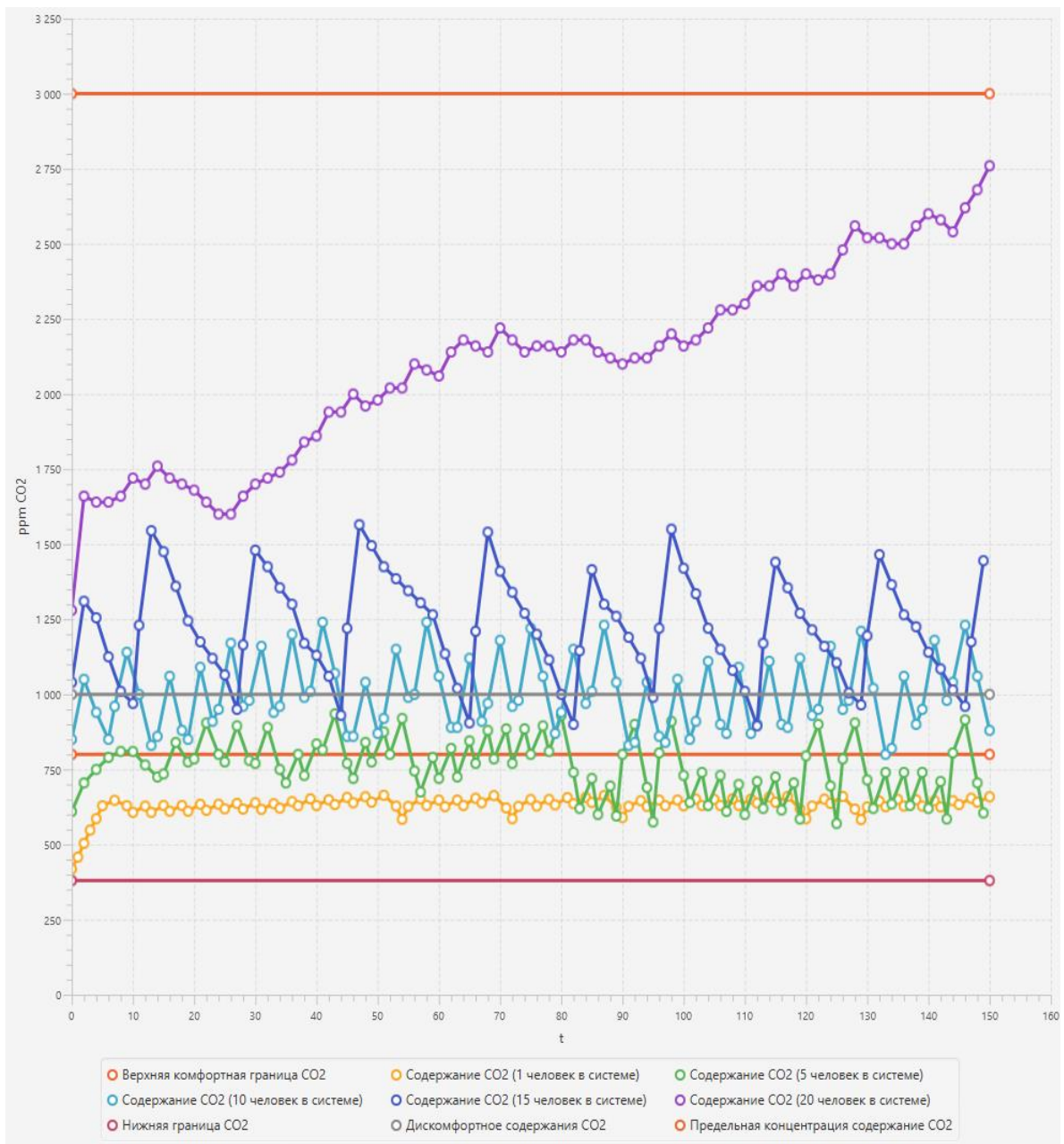


Рис. 3. Содержание CO₂ в объекте (Желтая линия – содержание CO₂ для 1 человека в системе, зеленая линия – содержание CO₂ для 5 человек в системе, голубая линия – содержание CO₂ для 10 человек в системе, синяя линия – содержание CO₂ для 15 человек в системе, фиолетовая линия – содержание CO₂ для 20 человек в системе)

Для этого необходимо объявить основные моменты проведения экспериментов:

1. Для проведения эксперимента возьмем объект длиной 4 метра шириной 5 метров и высотой 2.5 метра. Площадь заданного объекта равняется 50м³.

2. Из таблицы 1 можно узнать, что нормальный уровень CO₂ 600 ppm, нижняя граница 380 ppm, дискомфортная граница начинается с 1000 ppm, а выше 3000 начинаются проблемы со здоровьем.

3. Подача воздуха из системы регенерации и забора воздуха из объекта сделаем равными.

На рисунке 3 видно, что система с 1, 5, 10, 15 людьми в объекте справляется и удерживает допустимое значение содержание CO₂, а с 20 людьми в объекте система не справляется.

Выводы

В данной работе были синтезированы информационная модель системы жизнеобеспечения в замкнутом контуре и ее подсистемы, после чего были построены математическая и вход-состояние-выход модели, которые описывают принцип работы системы

На основе математической модели была написана программа. Задавая параметры системы в программу, можно рассмотреть разные недостатки и сценарии поведения системы жизнеобеспечения, что позволит корректировать систему для выполнения поставленной задачи.

Список литературы

1. Чайкина К.А. Современные системы жизнеобеспечения космонавтов [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennyye-sistemy-zhizneobespecheniya-kosmonavtov> (дата обращения: 04.04.2022).

2. Ключенкова М.И., Назаров В.И., Попов А.П. Техника и технология поддержания жизни в замкнутом пространстве // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2018. – Т. 10. – № 6. – С. 1255–1263. – DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-6-1255-1263. – URL.: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnika-i-tehnologiya-podderzhaniya-zhizni-v-zamknutom-prostranstve/viewer> (дата обращения: 15.01.2022).

3. Шахвалеев Е.Е. Информационная модель системы жизнеобеспечения: выпускная квалификационная работа бакалавра: направление 09.03.02 «Информационные системы и технологии» [Электронный ресурс]. – СПб.: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Институт компьютерных наук и технологий, 2022. – URL: <https://elib.spbstu.ru/dl/3/2022/vr/vr22-2301.pdf/info> (дата обращения: 04.04.2022).

4. Семенов Ю.В. Системы кондиционирования воздуха [Электронный ресурс]. – URL: <https://goo.su/Qu0H> (дата обращения: 31.04.2022).