

УДК 537.311.33

Ю.А. СЫСОЕВ

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ГАЗОСМЕШИВАЮЩИХ СИСТЕМ ПОВЫШЕННОЙ ТОЧНОСТИ

*В работе рассмотрен вопрос разработки газосмешивающих систем, основанных на методе подачи отдельных порций составляющих газовых компонент в смесительную камеру. Определен основной критерий обеспечения заданной точности соотношения компонент в смеси. Показано влияние очередности подачи дискретных порций и их количество на парциальные давления газов в смесительной камере. Предложен способ напуска дозированных объемов, позволяющий получить высокую точность процентного состава газовых смесей. Для реализации способа разработан алгоритм и на его основе создана микропроцессорная система управления опытно-промышленным генератором смесей газов (ГСГ). Разработанный ГСГ обеспечивает подготовку смесей из трех газов с дискретной заданной содержанием компонента 1% и погрешностью не более 0,1% по каждому газу.*

**Ключевые слова:** газосмешивающие системы, критерии обеспечения точности, парциальное давление, дискретная порция, генератор смесей газов.

### Введение

Во многих отраслях народного хозяйства используются газовые смеси самого различного состава. Они применяются для хранения и упаковки продуктов питания, при проведении сварочных процессов, в медицине, при проведении работ под водой. При таком их использовании достаточной является точность процентного соотношения газов в смеси на уровне нескольких процентов. В других случаях, например, при метрологическом обеспечении разнообразных производственных процессов с помощью поверочных газовых смесей (ПГС), в вакуумно-плазменных технологиях получения многокомпонентных покрытий различного функционального назначения, при использовании смесей газов в лазерной технике, гарантированная точность соотношения газовых компонент в смеси необходима на несколько порядков более высокая. Сложность задачи во многих случаях определяется также многокомпонентностью состава смеси. Разработка газосмешивающих систем, обеспечивающих высокую точность действительного значения содержания компонента в смеси при большой многокомпонентности ее состава, особенно в производственных условиях, представляет на данный момент актуальную задачу.

### 1. Современное состояние вопроса

В работах [1 – 3] показано, что максимальную точность соотношения компонент в смеси газов можно обеспечить методом подачи дозированных

порций составляющих газов в смесительную камеру. Предложенный метод [4] по сравнению с методом струйного смешивания газов [5], имеет более высокие точностные характеристики. Основная трудность при его реализации заключается в нахождении временной последовательности подачи порций газов в смесительную камеру. Так, при работе устройства, создающего смесь из трех газов с дискретной заданной каждого компонента 1%, количество возможных последовательностей составляет  $10^4$ . Для нахождения временных последовательностей подачи дискретных порций была создана программа, итерационным путем определяющая для заданных процентных соотношений и точности соотношения необходимую последовательность [6].

На основе метода дозированной подачи и разработанного программного обеспечения был создан экспериментальный вариант генератора смесей газов для случая трех газов. В ходе его разработки были решены две основные задачи, позволяющие при минимальных затратах получить высокие эксплуатационные характеристики.

Первая задача состояла в повышении точности измерения давления во входных емкостях для обеспечения равенства давлений. Для ее решения была разработана многоканальная система калибровки датчиков давления, которая, будучи встроенной в ГСГ, позволила существенно уменьшить погрешность измерения давлений. Ее применение необходимо при первоначальном запуске генератора, при замене одного из датчиков и позволяет учитывать эффект «старения» датчиков.

Решение второй задачи заключалось в нахождении поправочных коэффициентов для дозирующих объемов. С этой целью производилась калибровка барботажным методом (точность 0,05% [7]) емкости, которая затем в качестве образцовой использовалась на специально разработанном стенде для определения поправочного коэффициента для каждой дозирующей емкости.

Опыт работы, полученный при разработке и испытаниях экспериментального варианта ГСГ, и, в первую очередь, системы его управления, был положен в основу при создании опытно-промышленного ГСГ.

## 2. Разработка опытно-промышленного генератора смесей газов

Структурная схема ГСГ представлена на рис. 1. Она состоит из трех каналов, по которым в ГСГ происходит подача и движение исходных газов А, В и С. В блоках стабилизации входного давления А1, В1, С1 происходит стабилизация и выравнивание давления каждого из газов методом дозированной подачи во входные емкости. Формирование порций газов уже равного давления происходит в блоках А2, В2, С2, откуда они поступают в смесительную камеру СМ. Предварительно все емкости, для обеспечения максимальной точности получения заданного состава смеси, откачиваются при помощи форвакуумного насоса ФМ. Управляет работой генератора система управления СУ при помощи блока контроля давления СКД.

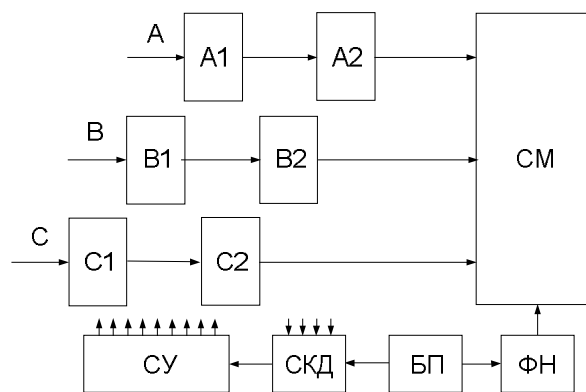


Рис. 1. Структурная схема опытно-промышленного генератора смесей газов:

А, В, С – газы, входящие в состав смеси;  
 А1, В1, С1 – блоки стабилизации входных давлений;  
 А2, В2, С2 – блоки формирования дозированных порций; СК – смесительная камера; СУ – система управления; СКД – система (блок) контроля давления; БП – блок питания;  
 ФН – форвакуумный насос

Точность заданного соотношения компонентов в смеси, обеспечиваемая ГСГ, при оптимальных

геометрических размерах дозирующих и смесительной емкостей, будет определяться алгоритмом работы системы управления.

При создании системы управления экспериментальным ГСГ использовались два критерия, необходимые для выполнения условия [4]:

$$\frac{\sum_{i=1}^{i_1} \Delta p_{i_1}}{i_1} = \frac{\sum_{i=1}^{i_2} \Delta p_{i_2}}{i_2} = \dots = \frac{\sum_{i=1}^{i_j} \Delta p_{i_j}}{i_j} = k_j, \quad (1)$$

где  $\Delta p_{i_j}$  – изменение давления в смесительной камере после подачи в нее  $i$ -й порции  $j$ -го газа;  $k_j$  – параметр точности – минимальное значение, которое может быть получено при временном распределении числа  $i_j$  в цикле подготовки при условии  $k_1 = k_2 = \dots = k_j$  с точностью, определяемой заданной точностью соотношения компонентов, и регулируемой соотношением  $V_{ij} / V_{см}$ , где  $V_{ij}$  – объем  $i$ -й порции  $j$ -го газа,  $V_{см}$  – объем смесительной камеры.

Первым критерием для получения заданного соотношения компонент в смеси был критерий минимизация параметра  $\Delta p_i$ . Выполнение данного критерия возможно путем циклического формирования смеси газов, когда в одном цикле порциями подаются все газосодержащие смеси, а затем в следующем цикле процесс повторяется. Это позволяет обеспечивать минимальное значение параметра  $\Delta p_i$  в цикле, а значит и максимальную точность получения заданного соотношения компонент в смеси. Для выполнения данного критерия число порций в цикле должно стремиться к минимуму.

Вторым критерием получения заданного соотношения компонент в газовой смеси являлся критерий равенства усредненных в цикле по каждому газу параметров  $\Delta p_i$ . Усредненный параметр  $\underline{\Delta p}_i$  по конкретному газу равен

$$\sum_{i=1}^{i_j} \Delta p_{i_j} / i_j, \quad (2)$$

где  $i_j$  – количество дискретных порций  $j$ -го газа.

При создании смеси газов выполнение рассмотренных критериев является необходимым и достаточным условием получения заданного соотношения газовых компонент с требуемой точностью при циклическом способе наполнения смесительной камеры.

Для выполнения указанных критериев необходим поиск оптимальных временных последовательностей подачи дискретных порций.

Однако, как показал анализ процесса создания смеси газов, для ее создания без ухудшения точностных характеристик возможно построение более простого алгоритма работы системы управления, представленного на рис. 2.

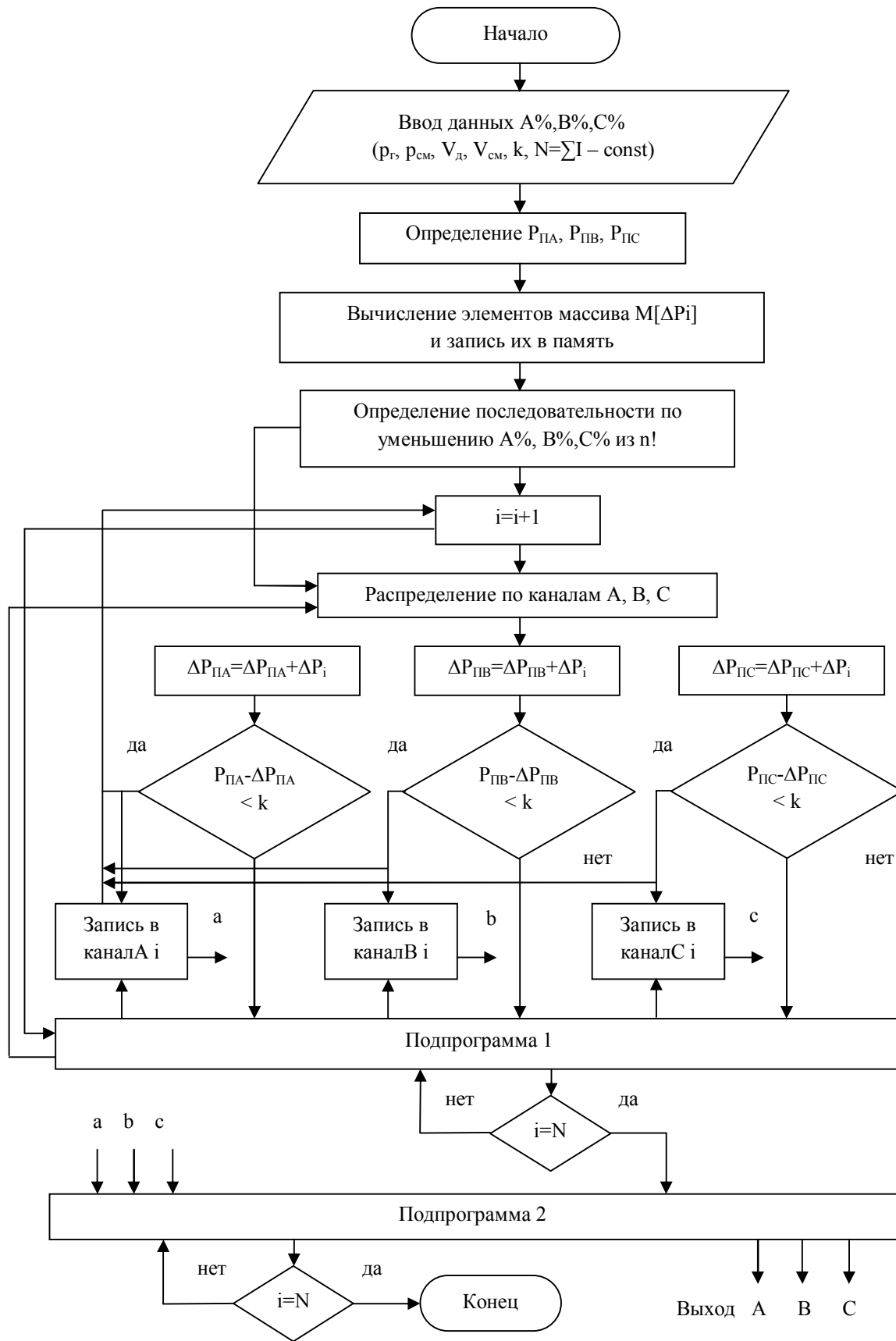


Рис. 2. Упрощенный алгоритм работы системы управления ГСГ

В основу работы этого алгоритма положено непосредственно условие (1), его работа происходит в одном цикле. В качестве единого критерия здесь выступает равенство усредненных параметров  $\Delta p_i$  (2) по конкретным газам во всем цикле приготовления смеси газов. Обоснованием возможности приготовления смеси газов в едином цикле служат данные по максимальной погрешности (для газовой компоненты с содержанием 1%), приведенные в таблице для случая: емкость смесительной камеры  $V_{см} = 1000 \text{ см}^3$ , объем дозирующей емкости  $V_r = 1 \text{ см}^3$ , входное давление газа  $p_r = 5 \text{ атм}$ , начальное давление в смесительной камере  $p_{см,i=0} = 0$ .

Таблица  
Изменение параметра  $\Delta p_i$  в зависимости от числа дискретных порций газа  $i$

$i$	$p_{см,i}$	$\Delta p_i$	Max. погр., %
1000	3,15	$1,83 \cdot 10^{-3}$	5,81
2000	4,32	$1,83 \cdot 10^{-3}$	1,57
3000	4,75	$1,83 \cdot 10^{-3}$	0,52
4000	4,90	$1,83 \cdot 10^{-3}$	0,19
5000	4,97	$1,83 \cdot 10^{-3}$	0,068

В работе [1] было показано, что при соотношении  $V_r / V_{см}$ , находящимся в диапазоне 0,001 – 0,0001, при соответствующем распределении подачи дискретных порций отдельных газов во времени, возможно обеспечение погрешности задаваемого процентного соотношения смеси газов на уровне 0,001%. Учитывая дополнительные погрешности, связанные с неточностями измерения давления и определения объема дозирующих емкостей, максимальная погрешность содержания компонентов в смеси газов, полученной с применением разработанного алгоритма, не будет превышать 0,1%.

Суть работы алгоритма (рис. 2) заключается в выполнении двух этапов. На первом определяется очередность включения дозирующих клапанов. После задания процентного содержания газов в смеси происходит определение их парциальных давлений. Вычисление элементов индексированного массива  $M[\Delta p_i]$  по зависимости  $P_{см} = P_{см-1} + \Delta p_i$  и запись их в ПЗУ производится при наладке ГСГ. При заданных  $p_r$ ,  $V_r$  и  $V_{см}$  элементы массива постоянны. В дальнейшем, рассчитываются парциальные давления газов ( $\Delta p_{ПА} = \Delta p_{ПА} + \Delta p_i$ ) при подаче каждой порции, в последовательности подач по убыванию заданного процентного содержания. При этом, очередность включения клапана по каждому газу записывается в память этого канала.

Так продолжается до тех пор, пока подача очередной порции газа не приведет к превышению заданного допуска между полученным парциальным

давлением и рассчитанным. В этом случае управление передается Подпрограмме 1, которая находит тот номер порции, подача которого обеспечит выполнение условие по точности. И так по каждому газу, с фиксацией номера в последовательности включения клапанов по каждому каналу в памяти канала.

На втором этапе работы передача управления передается Подпрограмме 2, которая, используя данные памяти по каждому каналу, обеспечивает создание смеси газов включением соответствующих дозирующих клапанов.

Внешний вид разработанного опытно-промышленного ГСГ с разработанной системой управления показан на рис. 3.

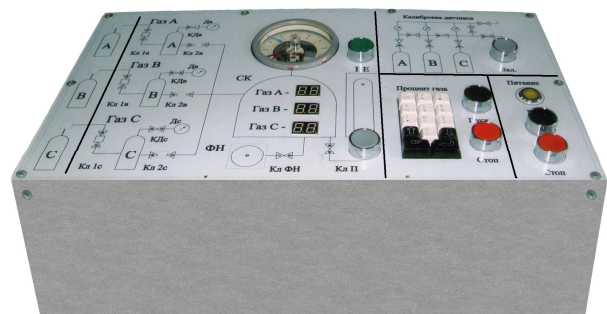


Рис. 3. Опытно-промышленный ГСГ

### Заключение

В результате выполненных исследований процесса газосмешения для приготовления смеси газов с высокой точность заданного процентного соотношения предложен единый критерий – равенство усредненных параметров  $\Delta p_i$  по конкретным газам в едином цикле приготовления. На основе данного критерия был разработан алгоритм и система микропроцессорного управления опытно-промышленным ГСГ. Разработанный ГСГ обеспечивает подготовку смесей из трех газов с дискретой задания содержания компонента 1% и погрешностью не более 0,1% по каждому газу.

Пути дальнейшего совершенствования систем газосмешения заключаются в повышении точности измерения давления исходных газов, обеспечении максимального равенства объемов дозирующих емкостей и повышении ресурса распределяющих клапанов.

### Литература

1. Оптимизация работы устройства для подготовки смесей газов заданного процентного состава [Текст] / Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, Ю.С. Евко, А.Ю. Сысоев // Вісті академії інженерних наук України: Спец. вип. Машинобудування та

прогресивні технології. – 2007.– № 3(33). – С. 245-252.

2. Сысоев, Ю.А. Влияние разброса основных параметров на точностные характеристики генератора смесей газов [Текст] / Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, А.Ю. Сысоев // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: Спец. вып. Новые технологии в машиностроении: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2008. – Вып. 3(54). – С. 187-197.

3. Научные и практические основы оптимизации работы устройства для подготовки смесей газов заданного процентного состава [Текст] / Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, Ю.С. Евко, А.Ю. Сысоев // Тр. XVII междунар. конфер. Новые технологии в машиностроении, Рыбачье, 3-8 сентября 2007. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т „ХАИ”. – С. 33.

4. Пат. України № 85625, МПК В01F3/00, В01F13/00, G05D11/00. Спосіб підготовки суміші

газів для технологічних установок заданого відсоткового складу і пристрій для його реалізації / Сисоев Ю.О., Костюк Г.И., Евко Ю.С., Сисоев А.Ю.; № а 2007 05543, заявл. 21.05.2007; надрук. 10.02.2009, Бюл. №3. – 11с.; 4 табл.; 6 ил.

5. Система напуска СНА-2. [Текст]. Техническое описание и инструкция по эксплуатации 2.950.126 ТО. Кн.2.

6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 36416, 05.01.2011. Розрахунок послідовності надходження імпульсів відкриття дозуючих клапанів для забезпечення створення суміші газів заданого відсоткового складу [Текст] / Сисоев Ю.О., Костюк Г.И., Сисоев А.Ю., Воропай Р.В., Бреус А.А.

7. Можегов Н.А. Автоматические средства измерений объема, уровня и пористости материалов [Текст] / Н.А. Можегов. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 120 с.

Поступила в редакцию 1.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технология самолетостроения С.И. Планковский, Харьковский национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

## ОСОБЛИВОСТІ СТВОРЕННЯ ГАЗОЗМІШУЮЧИХ СИСТЕМ ПІДВИЩЕНОЇ ТОЧНОСТІ

*Ю.О. Сисоев*

У роботі розглянуто питання розробки газозмішувачів систем, заснованих на методі подачі окремих порцій складових газових компонент в камеру змішувача. Визначений основний критерій забезпечення заданої точності співвідношення компонент в суміші. Показаний вплив черговості подачі дискретних порцій і їх кількість на парціальний тиск газів в камері змішувача. Запропонований спосіб напуску дозованих об'ємів, що дозволяє отримати високу точність процентного складу газових сумішей. Для реалізації способу розроблений алгоритм і на його основі створена мікропроцесорна система управління дослідно-промисловим генератором сумішей газів (ГСГ). Розроблений ГСГ забезпечує підготовку сумішей з трьох газів з дискретою завдання вмісту компонента 1% і похибкою не більше 0,1%.

**Ключові слова:** газозмішувачі системи, критерій забезпечення точності, парціальний тиск, дискретна порція, генератор сумішей газів.

## FEATURES OF CREATION OF SYSTEMS FOR HIGH-PRECISION GAS MIXING

*Ju. A. Sysoiev*

The paper considered features of creation of systems for mixing gases by filing portions of gas components in the mixing chamber. The basic criterion for the required accuracy of the components in the gas mixture was determined. The influence of the order supply portions of gases and of their number on the partial pressures of gases in the mixture was determined. The way of the order supply portions of gases to obtain a high accuracy percentage by composition of gas mixtures was developed. To implement the method has been developed the algorithm and microprocessor system of control for industrial generator of gas mixtures. Generator of gas mixtures was made for mixing three gases (with changes a discrete component content of 1%) and the error of not more than 0.1%.

**Key words:** system for mixing gases, criteria to ensure the accuracy, partial pressure, portion of the gas, generator of gas mixtures.

**Сисоев Юрий Александрович** – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., доцент кафедры теоретической механики, машиноведения и роботомеханических систем Национального аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: JuriiS@ukr.net.