

# СОЗДАНИЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ю.А. Сысоев

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина*

Рассмотрен вопрос создания многокомпонентных газовых смесей (ГС), предназначенных для получения покрытий сложного состава в ионно-плазменных установках. Разработаны методы получения смесей газов, основанные на последовательной подаче порций газовых компонентов в смесительную камеру и обеспечивающие заданный состав смеси с высокой точностью. Для реализации методов разработаны алгоритмы и на их основе микропроцессорная система управления созданного генератора газовых смесей. Разработанный генератор обеспечивает подготовку смесей из трех газов с возможностью изменения процентного содержания каждого газа в диапазоне 0...100% с шагом задания содержания компонента 1% и погрешностью не более 0,1% по каждому газу.

## ВВЕДЕНИЕ

Среди первых покрытий, синтезированных методом конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ), были простые соединения на основе нитридов молибдена и титана, получившие практическое применение для повышения стойкости режущего инструмента [1]. Их формирование происходило при определенном давлении подаваемого в вакуумную камеру реакционного газа – азота. В дальнейшем, по мере расширения круга задач, решаемых методами ионно-плазменных технологий, для создания покрытий сложного состава начинают использовать газовые смеси (ГС):  $N_2 + CH_4$  – для осаждения оптических а-C:(H,N)-покрытий [1];  $N_2 + C_2H_2$  – для получения карбонитридов титана [2];  $H_2S + N_2$  – для получения покрытий со смазкой Mo(S,N) [3];  $N_2 + Ag$  – для повышения микротвердости конденсаторов системы Ti-Si-N [4].

При осаждении покрытий в работах [1-4] использовались бинарные смеси газов, полученные, как правило, путем последовательного напуска в рабочий баллон газов из отдельных баллонов с высоким давлением. Такой метод создания ГС характеризуется невысокой воспроизводимостью соотношения компонентов в смеси.

Широкое применение ГС для получения покрытий сложного состава в ионно-плазменных установках предполагает наличие устройств – генераторов газовых смесей (ГГС), работающих в составе установок и обеспечивающих создание многокомпонентных смесей газов с заданным соотношением компонентов в необходимом объеме и с возможностью достаточно оперативно менять состав смеси. В настоящий момент такие газосмешивающие системы отсутствуют.

## 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА К НАСТОЯЩЕМУ МОМЕНТУ

Выпускаемые ГГС по точности соотношения компонентов в смеси можно разделить на прецизионные ГГС и промышленные газосмесители. Первые служат для создания в сравнительно небольших объемах поверочных ГС, применяемых при метрологическом обеспечении различных производств, и

малопригодны для применения в процессах осаждения покрытий. Вторые, имея меньшую точность смешивания, характеризуются более высокой производительностью и используются для получения ГС, применяемых в сварочном производстве, лазерной технике, медицине, при упаковке и хранении продуктов питания и т. п.

Основной принцип, положенный в основу работы большинства промышленных ГГС, заключается в подмешивании одного газа к другому при условии выравнивания их давлений. При этом поступление компонентов смеси в блок смешивания осуществляется через калиброванные отверстия, размер которых должен точно соответствовать типу компонента (газа) [5]. Такой способ позволяет достаточно точно дозировать пропорции компонентов смеси, однако ведет к значительному усложнению конструкции ГГС при широком спектре используемых газов и создании ГС из трех и более компонентов.

Типичными представителями промышленных газосмесителей, работающих на принципе смешивания потоков газов, являются приборы фирмы WITT-GASETECHNIK (Германия) [6]. Данные устройства смешивают все технические газы, кроме токсичных или агрессивных. Диапазон смешивания газов определяется типом прибора и, как правило, содержит две шкалы: 0...25 и 0...100%. Точность настройки процентного соотношения имеет значение  $\pm 1\%$  для первой шкалы и  $\pm 2\%$  для второй при точности смешивания в обоих диапазонах не хуже  $\pm 1\%$ . Таким образом, общая суммарная погрешность процентного содержания отдельного газа в смеси в рассматриваемом классе устройств может достигать значений порядка  $\pm(2...3)\%$ . Такая точность газосмешения во многих случаях недостаточна для применения в ионно-плазменных технологиях.

Более высокая точность соотношения компонентов в смеси при количестве газов более трех достигается в устройстве, применяемом для эпитаксиального роста пленок с использованием металлоорганических соединений [7]. В основу работы этого устройства положены: метод, заключающийся в последовательной подаче  $i_j$  дискретных порций  $j$ -го газа в предварительно откачанную смесительную камеру, и задание процентного содержания газа в

смеси с числом  $i_j$ . Данным устройством создается требуемый технологией состав смеси из различных газов, в том числе и газообразных металлоорганических соединений, которая в дальнейшем подается в импульсный реактор, где и происходит рост пленок.

Метод создания смеси газов путем подачи отдельных порций газов в смесительную камеру представляется достаточно перспективным для применения в процессах синтеза покрытий в ионно-плазменных установках. Вместе с тем, в том виде, в котором он реализован в работе [7], его использование применительно к получению покрытий сложного состава ионно-плазменными методами препятствуют:

- недостаточно высокая точность соотношения газовых компонентов в создаваемой смеси по причине использования для смешивания порций газов, имеющих различные объемы и давления;

- высокая сложность устройства из-за применения дозаторов переменного объема, изготовление которых является достаточно сложной технической задачей;

- недостаточная оперативность изменения состава ГС в широком диапазоне ее вариации.

Целью настоящей работы являются разработка методов, обеспечивающих получение многокомпонентных ГС с высокой точностью соотношения компонентов, и создание на их основе ГГС для использования его в составе ионно-плазменных установок для синтеза покрытий сложного состава.

## 2. ПОДГОТОВКА СМЕСЕЙ ГАЗОВ С ЗАДАННЫМ СООТНОШЕНИЕМ КОМПОНЕНТОВ

### 2.1. МЕТОД ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ ЦИКЛИЧЕСКОЙ ПОДАЧИ ПОРЦИЙ ГАЗОВ

В основу работы ГГС для процессов нанесения покрытий был положен метод создания ГС путем последовательной подачи порций газов в предварительно откачанную смесительную камеру. При такой подаче газа изменение давления в смесительной камере происходит по закону:

$$p_{см.i} = p_{см.i-1} + (p_z - p_{см.i-1})V_z / (V_z + V_{см}), \quad (1)$$

где  $p_{см.i}$  – давление в смесительной камере после подачи в нее  $i$ -й порции газа;  $p_{см.i-1}$  – давление в смесительной камере после подачи в нее  $(i-1)$ -й порции газа;  $p_z$  – начальное давление в дозирующей емкости;  $V_z$  – объем дозирующей емкости;  $V_{см}$  – объем смесительной камеры.

В выражении (1) второе слагаемое (обозначим его через  $\Delta p_i$ ) показывает прибавку в давлении в смесительной камере после подачи  $i$ -й порции газа. Параметр  $\Delta p_i$  является определяющим, какое количество молекул газа будет попадать в смесительную камеру после подачи каждой дискретной порции, поскольку  $p = nkT$ , где  $p$  – давление газа;  $n$  – его концентрация;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T$  – температура газа.

Чем сильнее разнится параметр  $\Delta p_i$ , тем более разнится и количество молекул газа, поступающих в смесительную камеру от порции к порции. Отсюда

следует, что точность получения заданного процентного соотношения компонентов в смеси будет, наряду с другими факторами, определяться также последовательностью подачи порции отдельных газов в смесительную камеру.

Было найдено, что максимальная точность получения заданного соотношения компонентов в смеси обеспечивается при определении последовательности подачи дискретных порций каждого газа в цикле из условия [8]:

$$\frac{\sum_{i_1} \Delta p_{i_1}}{i_1} = \frac{\sum_{i_2} \Delta p_{i_2}}{i_2} = \dots = \frac{\sum_{i_j} \Delta p_{i_j}}{i_j} = k_j, \quad (2)$$

где  $\Delta p_{i_j}$  – изменение давления в смесительной камере после подачи в нее  $i$ -й порции  $j$ -го газа;  $k_j$  – 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 в смеси и регулируемой соотношением  $V_{ij} / V_{см}$ , где  $V_{ij}$  – объем  $i$ -й порции  $j$ -го газа,  $V_{см}$  – объем смесительной камеры.

При прочих равных условиях, чем меньше соотношение объемов порции газа и смесительной камеры ( $V_z / V_{см}$ ), тем с большей точностью можно регулировать состав газов в смеси. Расчеты показывают, что при значениях  $V_z / V_{см}$  порядка  $5 \cdot 10^{-4}$ , при соответствующем распределении подачи порций отдельных газов во времени, равенстве входных давлений газов и объеме дозирующих емкостей возможно обеспечение точности задаваемого процентного соотношения в ГС не хуже 0,01%.

Для выполнения условия (2) необходима минимизация параметра  $\Delta p_i$ . Выполнение данного критерия возможно путем циклического формирования смеси газов, когда в одном цикле порциями подаются все газовые составляющие смеси, а затем в следующем цикле процесс повторяется. Это позволяет обеспечивать минимальное значение усредненного параметра  $\Delta p_i$  в цикле, а значит, и максимальную точность получения заданного соотношения компонентов в смеси. Для выполнения данного критерия число порций в цикле должно стремиться к минимуму.

Реализация выполнения условия (2) на практике требует для каждого заданного соотношения компонентов в смеси нахождения временной последовательности подачи порций составляющих газов. При работе устройства, создающего смесь из трех газов с дискретой задания каждого компонента 1%, количество возможных последовательностей составляет  $10^4$ . Поскольку опробованные известные методы (метод цифровых дифференциальных анализаторов (ЦДА) и некоторые др.) не позволяют установить оптимальные временные последовательности во всем диапазоне изменения состава смеси, то для их нахождения был разработан алгоритм и на его основе создана программа, итерационным путем определяющая для заданных процентных соотношений и точности соотношения необходимую времен-

ную последовательность подачи порций газовых компонентов [9].

## 2.2. МЕТОД СОЗДАНИЯ ЗАДАННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПАРЦИАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЙ

Для создания смеси газов без ухудшения метрологических характеристик был разработан более простой алгоритм работы системы управления, основанный на следующем. Задание процентного содержания газов в смеси однозначно, в соответствии с законом Дальтона, определяет парциальное давление каждого из  $j$  газов в смеси:

$$P_{нар1} + P_{нар2} + \dots + P_{нарj} = P_{см}, \quad (3)$$

где  $P_{см}$  – давление в смесительной камере после окончания приготовления смеси газов.

Очевидно, что при приготовлении смеси газов подачей порций должно выполняться условие

$$\sum_1^{i_j} \Delta p_{i_j} = P_{нарj}. \quad (4)$$

Поскольку получить заданное  $P_{нарj}$  мы можем с определенной заданной точностью, то предыдущее условие в уточненном виде соответствует выражению

$$\sum_1^{i_j} \Delta p_{i_j} = P_{нарj} \pm 0,5k_j, \quad (5)$$

где  $k_j$  – допуск на отклонение содержания  $j$ -го газа в смеси от заданного значения.

Суть метода создания заданных значений парциальных давлений газов поясняется рис. 1, где показаны возможные случаи изменения парциального давления газа  $P_{нарj}$  после подачи порции газа  $\Delta p_{i_j}$  – с попаданием в поле допуска (случай 2) или непопаданием (случай 1 или случай 3).

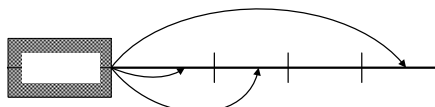


Рис. 1. Возможные случаи изменения парциального давления  $j$ -го газа  $P_{нарj}$  при подаче очередной порции газа

В данном методе перед подачей каждой порции газа проверяется условие

$$\sum_1^{i_j-1} \Delta p_{i_j-1} + \Delta p_{i_j} < P_{нарj} + 0,5k_j. \quad (6)$$

Выполнение условия (6) означает, что при подаче порции газа  $\Delta p_{i_j}$  будет реализовываться случай 1 или 2, и тогда порцию газа можно подавать, и она подается. Далее проверкой условия

$$\sum_1^{i_j-1} \Delta p_{i_j-1} + \Delta p_{i_j} > P_{нарj} - 0,5k_j \quad (7)$$

происходит уточнение наступления события: случай 1 или 2. Выполнение (7) означает, что заданное парциальное давление данного газа с заданным допуском достигнуто (при подаче порции газа произошел случай 2), вследствие чего блок управления прекра-

щает подачу порций этого газа.

Невыполнение условия (7) при выполнении (6) означает наступление случая 1, и можно осуществлять подачу этой порции и приступать к исследованию возможности подачи следующей порции газа данного вида, предварительно повторив цикл проверки условий (6) и (7).

Невыполнение условия (6) означает, что подача в данный момент порции этого газа невозможна, так как при подаче порции наступит случай 3 – превышение величины заданного парциального давления данного газа с заданным допуском. При этом проверка условия (7) не выполняется. В этой ситуации блок управления переходит к подаче порции следующего  $j$ -го газа, осуществляя аналогично все проверки. Подача порций каждого газа производится до тех пор, пока не будут выполнены одновременно условия (6) и (7) для каждого газа, что соответствует достижению заданного компонентного состава смеси.

Для реализации предложенного метода необходимо, чтобы количество порций  $\Delta p_{i_j}$ , соответствующих условию  $\Delta p_{i_j} \leq k_j$ , было не менее одной для каждого газа. Это достигается предварительным расчетом  $\Delta p_i$  и  $P_{нарj}$  при заданных процентном соотношении газов и точности содержания компонента в ГС.

Приготовление смеси газов в соответствии с данным способом делает очередность подачи порций газов совершенно несущественной, так как постоянно выполняемая проверка условий попадания в заданный допуск позволяет достигать необходимого процентного соотношения с требуемой точностью независимо от очередности подачи порций газов, входящих в состав смеси. Этим самым достигается упрощение процесса приготовления смеси, поскольку не требуется нахождения очередности подачи порций газов.

## 2.3. РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА СМЕСЕЙ ГАЗОВ

Структурная схема разработанного на изложенных принципах ГГС показана на рис. 2.

Прибор состоит из трех каналов, по которым в ГГС происходит подача и движение исходных газов: А, В и С. В блоках стабилизации входного давления А1, В1 и С1 происходит стабилизация и выравнивание давления каждого из газов методом дозированной подачи во входные емкости. Формирование порций газов одинакового объема происходит в блоках А2, В2 и С2 (блок клапанов), откуда они поступают в смесительную камеру СМ. Подготовленная ГС поступает в бустерную емкость БЕ, из которой обеспечивается непрерывный отбор ГС при работе ГГС в составе установки для нанесения покрытий. Предварительно все емкости для обеспечения максимальной точности получения заданного состава смеси откачиваются при помощи форвакуумного насоса ФН. Управляет работой ГГС микропроцессорная система управления СУ при помощи блока контроля давления СКД. Питание узлов ГГС осуществляется блоком питания БП.

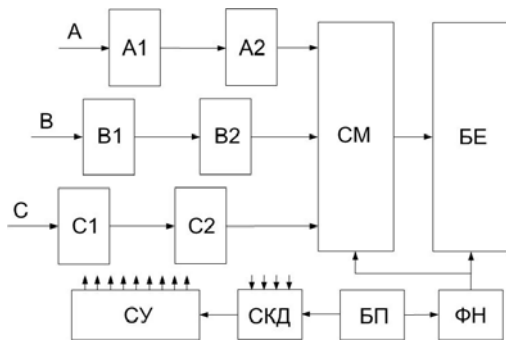


Рис. 2. Блок-схема ГТС для создания смеси из трех газов

Конструктивное исполнение узлов ГТС показано на рис. 3–5.

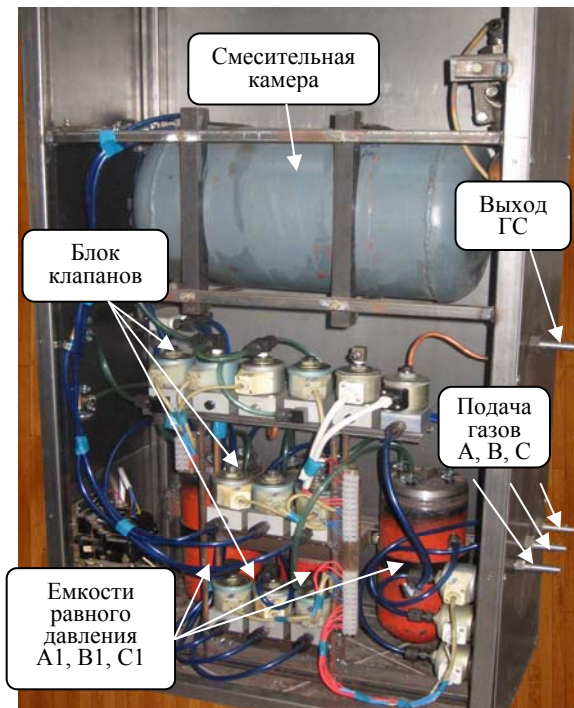


Рис. 3. Вид ГТС спереди со снятой панелью

В блоке клапанов ГТС были применены трехлинейные пневмораспределители с электромагнитным управлением типа П-РЭЗ/2,5, имеющие ресурс  $25 \cdot 10^6$  срабатываний. В качестве датчиков давления использовались датчики МРХ фирмы «Motorola».

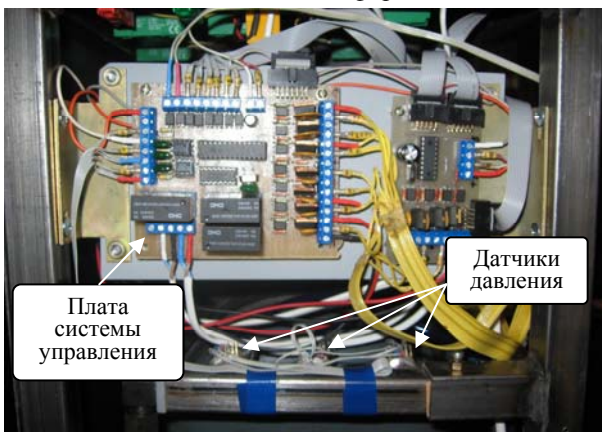


Рис. 4. Вид ГТС сбоку со снятой панелью

Система управления была спроектирована на двух микропроцессорах, из которых первый (PIC 16F84A) управлял работой клавиатуры и индикацией состава смеси, а второй (PIC 16F873A) по разработанной программе осуществлял процесс приготовления ГС.



Рис. 5. Панель управления ГТС

В ходе разработки ГТС были решены две основные задачи по обеспечению точности получения заданного соотношения компонентов в смеси. Первая задача состояла в создании равных давлений смешиваемых газов во входных емкостях А1, В1 и С1. Для ее решения необходимо с высокой точностью определять давление в указанных емкостях. С этой целью была разработана многоканальная система динамической калибровки датчиков давления, схема которой показана на рис. 6.

Система калибровки датчиков давления, встроенная в ГТС (см. рис. 5 – калибровку датчиков), позволяет за счет сведения к минимуму разброса в показаниях датчиков давления Sa, Sb и Sc обеспечить с достаточной точностью равенство давлений газов А, В и С в емкостях А1, В1 и С1 (см. рис. 3 – емкости равного давления). Суть ее работы заключается в одновременном измерении давления в одной емкости (см. в данном случае А1, рис. 6) всеми датчиками давления с последующим учетом разброса выходного сигнала датчиков путем сохранения их показаний во флэш-памяти микропроцессора. Применение такой системы калибровки необходимо при первоначальном запуске генератора, при замене одного из датчиков и позволяет учитывать эффект «старения» датчиков.

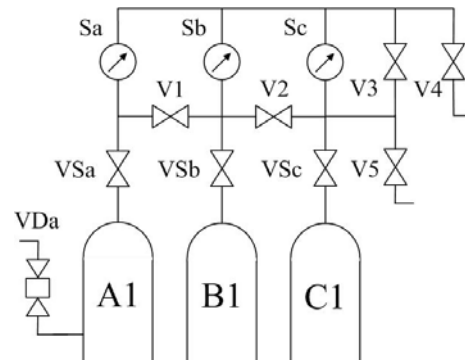


Рис. 6. Схема многоканальной системы калибровки датчиков давления: V1–V5 – управляемые клапаны; VDa – дозирующий клапан

Решение второй задачи заключалось в нахождении поправочных коэффициентов для объемов дозирующих емкостей. С этой целью на стенде (рис. 7) предварительно откалиброванной барботажным методом (точность 0,05% [10]) емкости SC с помощью системы управления (CS) определялся поправочный коэффициент для каждой дозирующей емкости VDA–VDC.

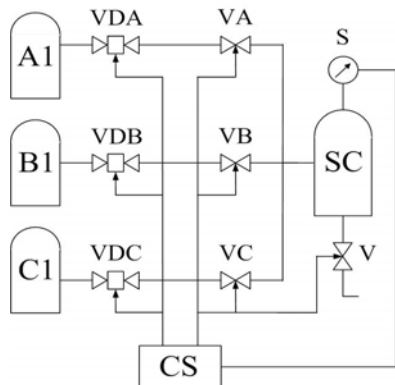


Рис. 7. Стенд для определения поправочных коэффициентов дозирующих емкостей:  
VA–VC, V – управляемые клапаны

Определение поправочных коэффициентов для дозирующих объемов построено на том, что количество порций газа, необходимых для достижения заданного давления (определяемого уровнем срабатывания датчика S) в образцовой емкости SC, зависит, при прочих равных условиях, от соотношения объемов дозирующей и образцовой емкостей. При достижении заданного уровня давления система управления CS прекращает подачу порций газа в образцовую емкость SC. При этом в ее памяти сохраняется число поданных порций  $N_1$ . В памяти CS также имеется число  $N$ , соответствующее количеству поданных порций при принятом объеме дозирующей емкости (величина объема дозирующей емкости без погрешности). Если  $N_1 > N$ , то действительный объем дозирующей емкости меньше принятого. В этом случае CS начинает высчитывать поправочный коэффициент для данной дозирующей емкости, проводя итерационный процесс путем постепенного незначительного (в пятом или более высоком знаке после запятой) повышения объема дозирующей емкости. Если  $N_1 < N$ , то итерация происходит в обратном порядке. Таким образом вычисляются поправочные коэффициенты для всех дозирующих емкостей.

Разработанный ГГС обеспечивает подготовку смесей из трех газов с возможностью изменения процентного содержания каждого газа в диапазоне 0...100% с шагом задания содержания компонента 1% и погрешностью не более 0,1% по каждому газу. На ГГС данной конструкции получен патент Украины на промышленный образец [11].

Генератор ГС может работать в нескольких режимах. При работе в автономном режиме приготовленные ГС заданного состава из смесительной камеры поступают в сменные бустерные емкости. Затем эти емкости с ГС могут использоваться в различных ионно-плазменных установках для получения по-

крытий требуемого состава. При работе в составе отдельной установки конструкция ГГС может быть упрощена за счет исключения из нее форвакуумного насоса и бустерной емкости. В этом случае предварительная откачка емкостей ГГС осуществляется форвакуумным насосом установки, а ГС в вакуумную камеру подается непосредственно из смесительной камеры.

Разработанный ГГС был испытан при работе в составе установки «Булат-6». Созданная с помощью ГГС смесь из трех газов (азота – 50%, ацетилена – 25%, аргона – 25%) использовалась при формировании покрытий из карбонитрида титана на сверлах из стали Р6М5, показавших высокую стойкость к износу [12].

## ВЫВОДЫ

1. Выполнен анализ известных способов создания ГС по возможности их применимости в процессах формирования покрытий ионно-плазменными методами, позволивший за основу разработанных методов принять способ смешивания газов путем последовательной подачи порций газов в предварительно откачанную смесительную камеру.

2. На принципе смешивания газов последовательной подачей порций в смесительную камеру разработаны новые методы организации подачи порций газов при формировании ГС заданного состава, обеспечивающие высокую точность соотношения компонентов.

3. Для реализации предложенных методов создана система калибровки датчиков давления, стенд для определения поправочных коэффициентов дозирующих объемов, алгоритмы и программное обеспечение для микропроцессорной системы управления.

4. Спроектирован и изготовлен ГГС, обеспечивающий подготовку ГС из трех газов с возможностью изменения содержания каждого газа в диапазоне 0...100%, с шагом задания содержания компонента 1% и погрешностью не более 0,1% по каждому газу.

5. Показана возможность работы ГГС в составе установки «Булат-6» при формировании карбонитридных покрытий.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. И.И. Аксенов, А.А. Андреев, В.А. Белоус, В.Е. Стрельницкий, В.М. Хороших. *Вакуумная дуга: источники плазмы, осаждение покрытий, поверхностное модифицирование*. Киев: «Наукова думка», 2012, 727 с.
2. В.В. Кунченко, А.А. Андреев. Карбонитриды титана, полученные вакуумно-дуговым осаждением. // *Вопросы атомной науки и техники. Серия «Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение»*. 2001, №2, с. 116-120.
3. А.А. Андреев, Л.П. Саблев, С.Н. Григорьев, В.М. Шулаев. *Вакуумно-дуговые устройства и покрытия*. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005, 236 с.
4. В.А. Белоус, Ю.А. Заднепровский, Н.С. Ломино, О.В. Соболев. Роль аргона в газовой смеси с азотом при получении нитридных конденсатов сис-

темы Ti-Si-N в вакуумно-дуговых процессах осаждения // *ЖТФ*. 2013, т. 83, в. 7, с. 69-76.

5. В. Райский. Приборы для получения смесей сварочных защитных газов // *Оборудование: рынок, предложения, цены*. 2003, №3, с. 3.

6. WITT-GASETECHNIK. *Каталог продукции* [Электронный ресурс] / Режим доступа [http://www.wittgas.com/RUS/mixers\\_metering\\_panels\\_russia\\_n\\_downloads.html](http://www.wittgas.com/RUS/mixers_metering_panels_russia_n_downloads.html), свободный. 12.05.13.

7. W. van Sark et al. Computer automation of the Pulse Reactor, a pulse operated low-pressure metal organic vapor phase epitaxy machine // *Rev. Sci. Instrum.* 1990, v. 61, №1, p. 146-157.

8. Пат. України № 85625, МПК В01 3/00. *Спосіб підготовки суміші газів заданого відсоткового складу для технологічних установок і пристрій для його реалізації* / Ю.О. Сисоєв, Г.І. Костюк, А.Ю. Сисоєв, Ю.С. Євко. Бюл. 2009, №3, 11 с.

9. Свід. про реєстрацію авторського права на твір №36416. *Розрахунок послідовності надходження імпульсів відкриття дозуючих клапанів для забезпечення створення суміші газів заданого відсоткового складу* / Ю.О. Сисоєв, Г.І. Костюк, А.Ю. Сисоєв та ін. 05.01.2011.

10. Н.А. Можегов. *Автоматические средства измерений объема, уровня и пористости материалов*. М.: «Энергоатомиздат», 1990, 120 с.

11. Заявка на выдачу патенту на промисловий зразок №s201201239 від 19.09.12. *Генератор сумішей газів* / Ю.О. Сисоєв, Г.І. Костюк. Рішення про видачу патенту 24.04.13.

12. Ю.А. Сысоев, Г.И. Костюк, А.Ю. Сысоев. Применение генератора смесей газов для получения сложнокомпозиционных покрытий // *Вісник інженерної академії України*. 2011, в. 3, с. 198-201.

*Статья поступила в редакцию 21.06.2013 г.*

## **СТВОРЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ГАЗОВИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ІОННО-ПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

*Ю.О. Сисоєв*

Розглянуто питання створення багатокомпонентних газових сумішей (ГС), призначених для отримання покриттів в іонно-плазмових установках. Розроблені методи отримання ГС, засновані на послідовній подачі порцій газових компонентів у змішувальну камеру, що забезпечують заданий склад суміші з високою точністю. Для реалізації методів розроблені алгоритми і на їх основі створено мікропроцесорну систему керування створеного генератора сумішей газів. Розроблений генератор забезпечує підготовку сумішей з трьох газів з можливістю зміни процентного вмісту кожного газу в діапазоні 0...100% з кроком завдання вмісту компонента 1% і похибкою не більше 0,1% з кожного газу.

## **THE CREATION OF MULTI-COMPONENT GAS MIXTURES FOR ION-PLASMA TECHNOLOGIES**

*Yu.A. Sysoiev*

A considered question is multicomponent gas mixtures creation for production of complex composition coatings in ion-plasma technologies. The developed methods for producing gas mixtures are based on a serial supply of gas component portions into the mixing chamber which providing a predetermined mixture composition with high accuracy. For methods implementation has been developed algorithms and software for microprocessor control system of created gas mixtures generator. This generator provides training three gases mixture with changeability of each gas percentage in range from 0 to 100%, with working step of 1% component content and error isn't more 0.1% for each gas.