электронный журнал
МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51038.

**#09, сентябрь 2015**

**УДК 62-543+621.6+533.27**

# Повышение эффективности пневмоиспытаний изделий ракетно-космической техники посредством автоматизации приготовления контрольных смесей

***Алиев А.Р.**, аспирант*
*Россия, 601910, г. Ковров, КГТА им. В.А. Дегтярева,*
*кафедра «Гидропневмоавтоматики и гидропривода»*
*and_88_99@mail.ru*

*Научный руководитель: Халатов Е.М., д.т.н, профессор*
*Россия, 601910, г. Ковров, КГТА им. В.А. Дегтярева*
*kba@kc.ru*

Стратегический характер выполняемых задач системами пневмоавтоматики, участвующих в старте ракет-носителей (РН) и подготовке РН к старту, диктует предъявление к ним высоких требований по точности, быстродействию и надежности выполняемых технологических операций. В свете вышесказанного, особую актуальность приобретает вопрос, направленный на повышение качества проведения пневмоиспытаний (ПИ) изделий ракетно-космической техники (РКТ), решение которого обеспечит более точную оценку достигнутого технического уровня и качества изделий.

В подтверждение необходимости повышения эффективности ПИ изделий РКТ может послужить то, что именно их результаты служат основой для принятия решений о соответствии параметров изделий РКТ предъявляемым к ним требованиям. Брак в проведении ПИ, вызванный их погрешностями и неточностями, приводит либо к ошибочному исключению исправных изделий, либо к признанию исправными изделиями тех, которые на самом деле не годны.

В процессе испытаний образцов РКТ широко используются смеси газов, например воздух-гелий, воздух-азот, азот-гелий. Получение газов с заданной точностью концентрацией компонентов – достаточно сложная задача, основными направлениями ее решения являются: совершенствование элементной базы систем приготовления контрольных смесей; введение автоматизации операций, выполняемых системами приготовления контрольных смесей.

Совершенствование элементной базы систем приготовления контрольных смесей позволит расширить их возможности, повысить надежность, повысить точность концентраций приготавливаемых газовых смесей, служащих рабочими средами изделий РКТ.

Автоматизация приготовления контрольных смесей, прежде всего, касается автоматизации подачи требуемых объемов компонентов газовой смеси по алгоритмам управления, диктуемым выполняемой операцией. Создание библиотек алгоритмов (операций, типовых технологических процессов) для ПИ изделий РКТ.

В литературе предлагается существующие способы приготовления смесей условно разделить на две группы: статические и динамические [3, 5, 8-10].

Статические способы основаны на вводе определенного количества компонентов газа в емкость определенного объема. Приготовление смеси статическими методами включает следующие стадии: 1) контроль внутренней поверхности емкости; 2) вакуумирование емкости или продувка инертным газом с одновременным нагревом; 3) ввод компонентов газовой смеси; 4) гомогенизация смеси за счет диффузии; 5) анализ состава смеси. Статические способы просты и зачастую не требуют специального оборудования, однако в большинстве случаев они практически не пригодны для получения гомогенных газовых смесей с низкой концентрацией одного из компонентов (менее 5-7 %). Основной причиной этого является сорбционный эффект материала емкости. Однако и при равных концентрациях компонентов газа в смеси статические способы являются малоэффективными, по причине низкой скорости диффузии между компонентами смеси, влекущей недопустимую длительность процесса приготовления газовой смеси. Так же данные методы практически не применимы для приготовления газовой смеси высокого давления (порядка 200-400 кгс/см$^2$), из-за длительности процесса диффундирования благодаря значительной плотности смешиваемых газов.

Применимость статических способов возможна в случаях, когда необходимо приготовить смесь газов низкого давления и требуемой концентрации, которая готовится заранее, после длительной выдержки, что позволяет обеспечить необходимую ее однородность и точность концентрации компонентов.

Динамические способы – способы приготовления гомогенной газовой смеси, основанные на вводе непрерывного потока компонентов газа в ёмкость определенного объема – изделия РКТ. Эти способы дает наилучшие результаты в тех случаях, когда необходим непрерывный газовый поток с известной концентрацией.

Представленная выше классификация не позволяет в полной мере отразить специфику происходящих технологических процессов при приготовлении газовой смеси,

для ее последующего применения в качестве рабочей среды при ПИ изделий РКТ и их непосредственной эксплуатации. Анализ существующих технологий приготовления газовых смесей позволяет выделить следующие основные признаки классификации: технология смешивания компонентов; агрегатное состояние смешиваемых компонентов; принцип контроля дозирования компонентов смеси; принцип контроля концентрации компонентов; тип управления процессом приготовления смеси. Классификация способов приготовления газовых смесей, сформированная на основе вышеизложенных критериев, представлена на рис. 1.

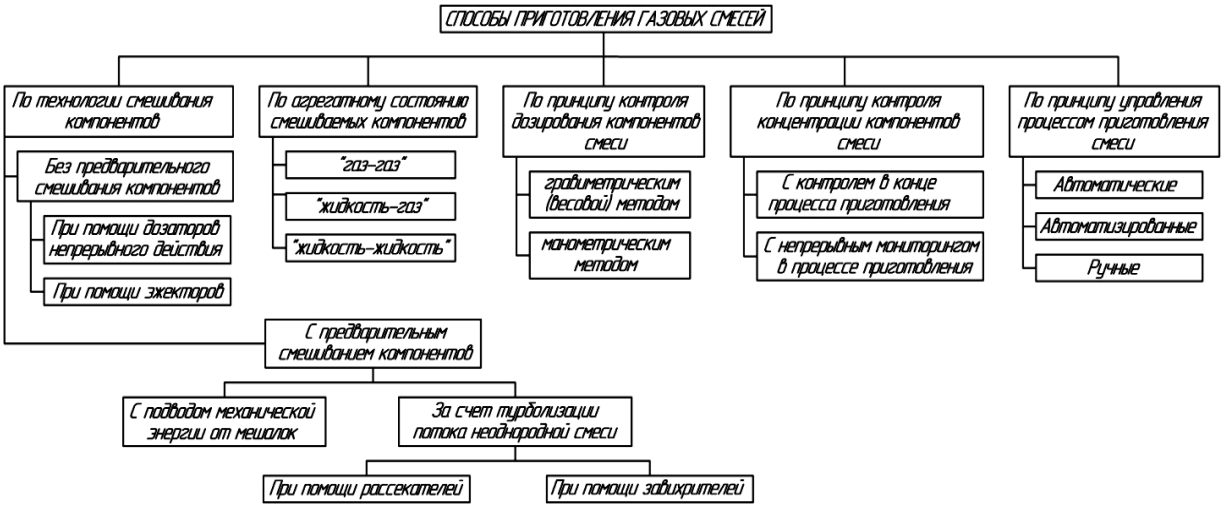


Рис. 1. Классификация способов приготовления газовых смесей

Классифицируя способы приготовления газовых смесей по признаку – технология смешивания компонентов, можно выделить два основных направления: способы без предварительного смешивания компонентов и способы с предварительным смешиванием. Способы приготовления без предварительного смешивания предполагают, что смесь готовится непосредственно в процессе подачи ее компонентов в изделие РКТ при ПИ, без промежуточных емкостей (смесителей). Среди этих способов можно выделить: способ на основе использования дозаторов непрерывного действия и эжекторов.

Дозаторы непрерывного действия используются для получения бикомпонентных и многокомпонентных газовых смесей с расходом до нескольких сотен кубических метров в час. Концентрации отдельных компонентов определяются величиной гидравлического сопротивления соответствующих каналов. Дозаторы могут быть регулируемые (регулируемые дроссели) и нерегулируемыми (диафрагмы, дроссельные шайбы). Данный способ смешивания компонентов может реализовываться встраиванием дозаторов в трубопроводы или при слиянии двух или более трубопроводов в один, большего

диаметра. В случаи, если способ используется как предварительный этап приготовления смеси, то для улучшения качества смешивания поток пропускают через другое смешивающее устройство. Но в основном применение способа лежит в плоскости финишного этапа смешивания компонентов для повышения степени гомогенизации.

Струйные эжекторы (рис. 2) так же применяются для получения смесей газов. Поток эжектирующего компонента, выходящий под давлением и с высокой скоростью через сопло, создаёт область низкого давления в камере разрежения. За счёт перепада внешнего и внутреннего давлений в камере разрежения, эжектируемый компонент поступает в эжектор. Количество всасываемого эжектируемого компонента зависит от степени разряжения в камере и технических параметров устройства (коэффициент эжекции). В камере смешения происходит смешивание двух компонентов: эжектируемого и эжектирующего. Возникает общий результирующий поток, скорость течения которого выше, чем у всасывающего компонента. После смешения, поток попадает в диффузор, где происходит преобразование скорости потока в статическое давление. Давление смеси на выходе струйного эжектора может превышать давление пассивной среды на входе в аппарат до определённых значений.

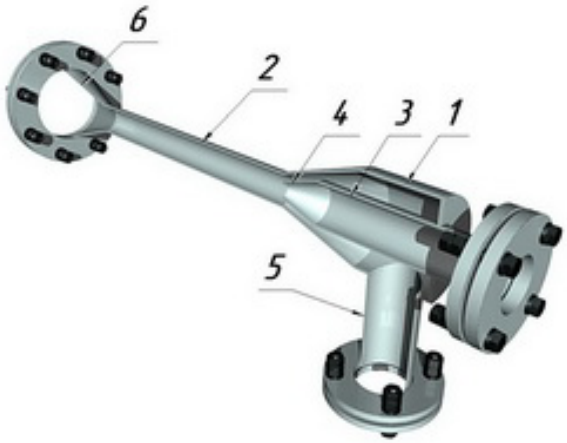


Рис. 2. Струйный эжектор: 1 – камера разрежения; 2 – камера смешения; 3 – канал подачи эжектирующего компонента; 4 – сопло канала подачи эжектирующего компонента; 5 – патрубок забора эжектируемого компонента; 6 – выходной диффузор эжектора

Способы с предварительным смешиванием подразделяются на: с подводом механической энергии от мешалок и за счет турбулизации неоднородной смеси. Данная группа способов характеризуется необходимостью предварительного смешивания компонентов в промежуточном резервуаре, для получения требуемой однородности смеси, перед её поступлением в изделие. Способы предварительного смешивания

компонентов с подводом механической энергии реализуются за счет применения мешалок различных типов, например турбинных, лопастных, пропеллерных.

Турбулизация потока в процессе приготовления смеси с предварительным ее смешиванием реализуется путем встраивания в трубопроводы элементов, способных создавать закручивание потоков, что способствует смешиванию ее компонентов. Данными элементами могут выступать различного рода завихрителе и рассекатели потока.

Классифицируя способы приготовления газовых смесей по агрегатному состоянию смешиваемых компонентов, может быть выделено три варианта: «газ-газ», «жидкость-газ», «жидкость-жидкость». Из этих трех вариантов наиболее эффективным, с точки зрения степени гомогенизации и экономичности является вариант «газ-газ», так как он не требует дополнительных сложных и дорогостоящих устройств по сжижению газа перед смешиванием, а так же минует возникновения образования побочных фракций в процессе гомогенизации.

Признаком классификации способов приготовления газовых смесей может служить принцип контроля дозирования компонентов смеси, в рамках которого, относительно использованию в изделиях РКТ, рассматриваются два подспособа: гравиметрический или весовой и манометрический. Данные способы применимы при смешении в замкнутом объеме, например в баллонах, что гарантирует высокое качество получаемой смеси.

Гравиметрический способ (рис. 3, а) основан на взвешивании баллона после добавления каждого вещества [6]. Для повышения точности применяют метод многократного разбавления. Процедура последовательных разбавлений необходима при низких (менее 5 %) концентрациях целевых компонентов. При условии использования высокоточных электронных весов и чистых исходных компонентов массовый способ позволяет обеспечить точность состава 0,5 % [4].

Манометрический способ базируется на контроле давления в смесительной камере известного объема [7]. В эту емкость последовательно вводятся порции газообразных компонентов. Для уменьшения влияния сжимаемости давление процесса ограничивают несколькими атмосферами. Готовую смесь перекачивают из смесителя в баллон и повторяют процедуру до получения заданного количества продукта (рис. 3, б).

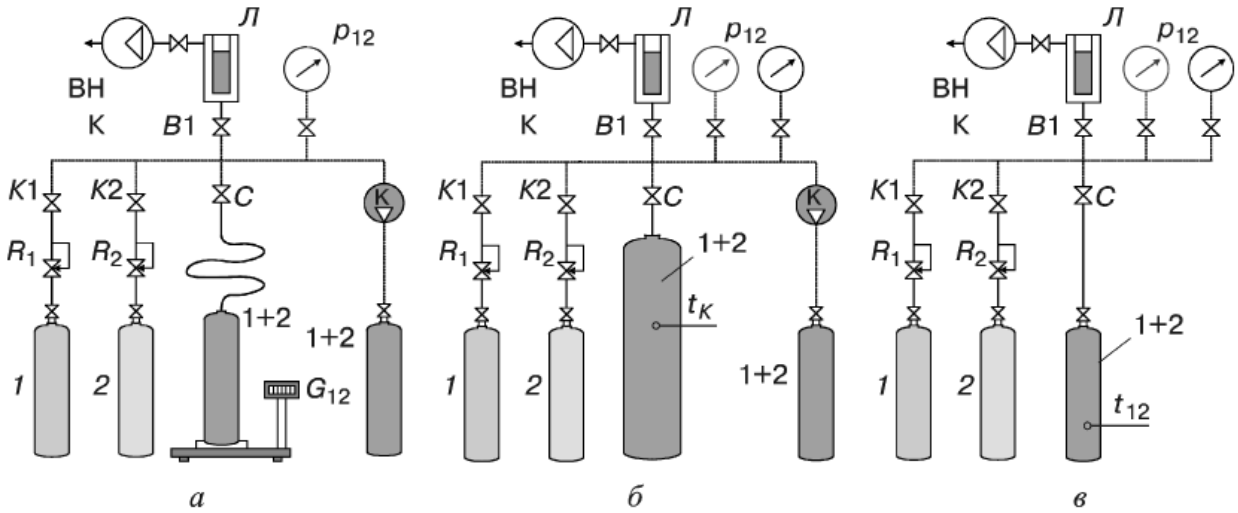


Рис. 3. Схемы стендов для весового (а) и манометрического (б, в) способов получения смесей

Работа при низких давлениях смесительной камеры не гарантирует высокой точности. В виду «реальности» компонентов смеси и влияния объемов арматуры и приборов, погрешность однократного смешения по давлению может составить 5 %. Необходимость последующей коррекции, длительные периоды стабилизации температуры и вероятность попадания в смесь побочных примесей при использовании компрессора превращает данный способ в малопродуктивную и ненадежную процедуру [4].

Способы приготовления газов могут быть разделены по принципу контроля концентрации компонентов смеси: непрерывный мониторинг в процессе приготовления смеси или контроль (отбор проб) в конце процесса приготовления смеси. Разумеется, что наиболее точным является непрерывный мониторинг, позволяющий корректировать возникающие отклонения непосредственно в процессе приготовления газовой смеси.

Еще одним критерием классификации способов приготовления газовых смесей служит принцип управления процессом, по которому способы делятся на: автоматические, автоматизированные и ручные.

Следует отметить, что в процессе приготовления газовых смесей зачастую используют комбинацию нескольких способов, для повышения степени гомогенности смеси.

Анализ способов получения смесей, приведенных в данной классификации, их достоинства и недостатки, позволяет предложить ряд технических решений, реализующих технологию смешивания компонентов.

На рис. 4 представлен вариант принципиальной пневматической схемы системы приготовления газовых смесей, состоящей из: электропневмоклапанов и вентилей, предназначенных для открытия и перекрытия линий; манометров; фильтров, предназначенных для очистки газа; предохранительных клапанов, предохраняющих от превышения давления в подводящих к смесителю линий выше допустимого уровня; клапанов обратных.

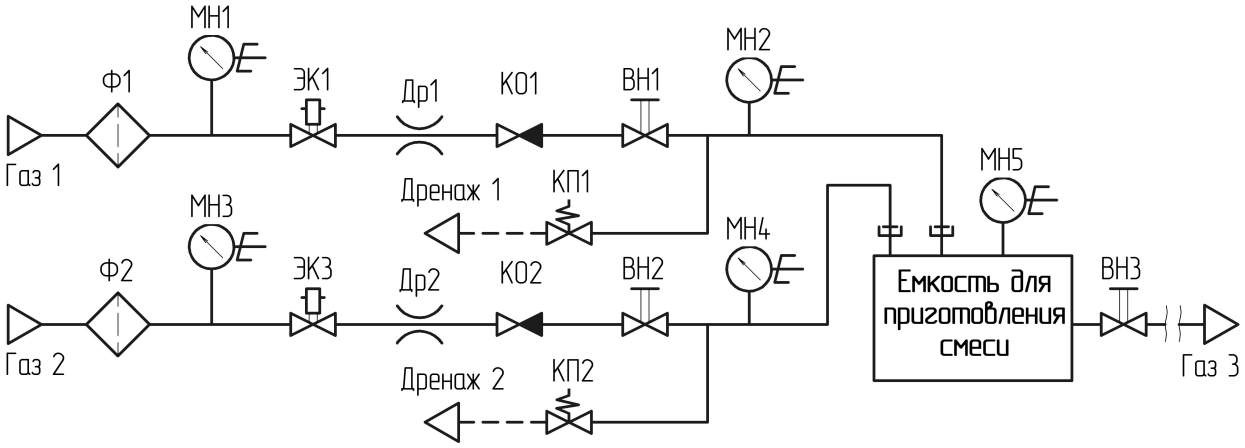


Рис. 4. Существующее техническое решение приготовления газовых смесей: Ф1, Ф2 – фильтры; МН1-МН5 – манометры; ЭК1, ЭК2 – электропневмоклапаны; Др1, Др2 – нерегулируемые дроссели; ВН1-ВН3 – вентили; КО1, КО2 – клапаны обратные; КП1, КП2 – клапаны предохранительные

Перед началом процесса приготовления смеси устанавливают нерегулируемые дроссели (дроссельные шайбы) Др1, Др2, обеспечивающие требуемый расход каждого из компонентов смеси, открываются вентили ВН1, ВН2, обеспечивающие поступление газов по подводящим к емкости для приготовления смеси (далее по тексту – емкость) линиям. В исходном состоянии электропневмоклапаны ЭК1-ЭК2 закрыты.

Принцип получения газовых смесей с нужной концентрацией состоит в поэтапной подачи газов-компонентов в емкость. От источника постоянного давления газ 1 подается в линию, проходит через фильтр Ф1, обеспечивая тем самым требуемую чистоту. На катушку электропневмоклапана ЭК1 подается напряжение, клапан открывается, пропуская поток газа в емкость в течение предварительно рассчитанного периода времени. По истечению требуемого промежутка времени с катушки ЭК1 снимается напряжение и клапан перекрывается. Для предотвращения обратного потока, при превышении давления полученной смеси по отношению к давлению подаваемого компонента, в линию встроен клапан обратный КО1. В линии, подающей компонент

(газ 1), предусмотрен предохранительный клапан КП1 предназначение которого заключается в предохранении от превышения давления выше допустимого. Аналогичным образом подается требуемое количество второго компонента приготавливаемой смеси (газа 2). После поступления требуемых компонентов в емкость следует длительная выдержка, способствующая диффундированию компонентов, а в следствии и образованию газовой смеси, близкой к однородной. Время выдержки пропорционально степени гомогенности смеси, объему смеси, температуре ее компонентов и температуре окружающей среды.

Недостаток данного схемного решения состоит в том, что, во-первых, он обладает невысокой точностью состава приготавливаемой смеси, во-вторых, неадаптивностью системы при изменении состава смеси, в-третьих, длительность приготовления смеси, в-четвертых, длительностью времени переналадки схемы, влекущей ее разбор и замену дроссельной шайбы, что мало желательно, по причине возможности попадания посторонних включений (например, механических частиц) в линию, в-пятых, отсутствие очистки газов перед поступлением в емкость по приготовлению смеси.

Устранение вышеприведенных недостатков может быть достигнуто при помощи использования системы приготовления газовых смесей (СПГС), построенной на основе принципиальной схемы, представленной на рис. 5.

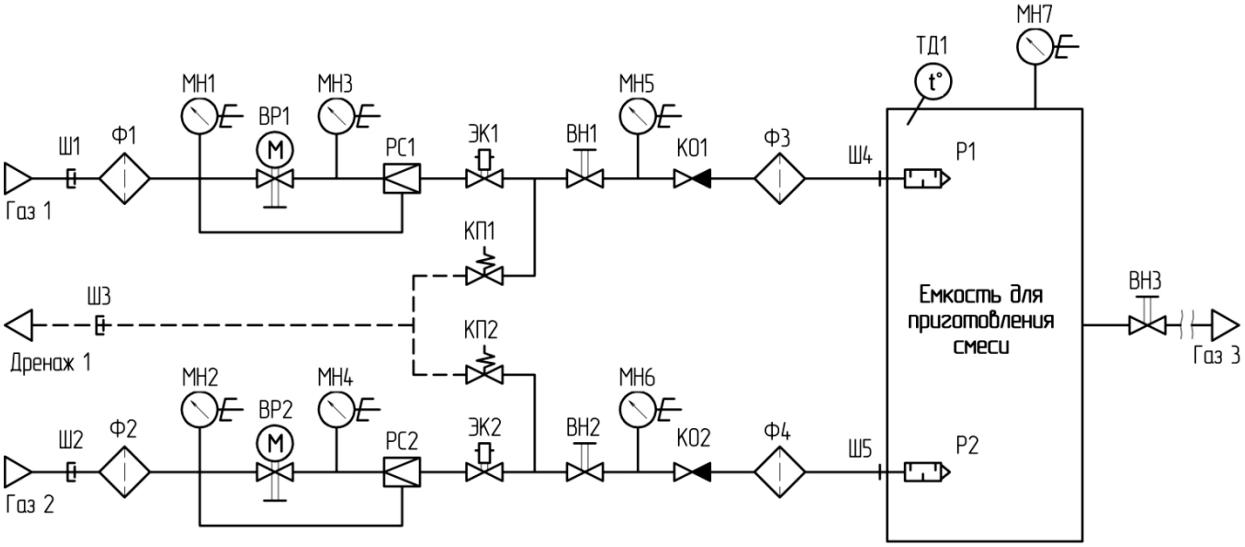


Рис. 5. Принципиальная схема предлагаемой СПГС: Ф1-Ф4 – фильтры; МН1-МН7 – цифровые манометры; ЭК1, ЭК2 – электропневмоклапаны; ВР1, ВР2 – вентили регулирующие; РС1, РС2 – регуляторы-стабилизаторы; ВН1, ВН2 – вентили; КО1, КО2 – клапаны обратные, КП1, КП2 – клапаны предохранительные; Р1, Р2 – рассекатели потока

СПГС может функционировать в автоматизированном и ручном режиме. Автоматизированный режим обеспечивает адаптивность системы, сокращает длительность приготовления, на фоне повышения точности состава смеси.

Принцип работы СПГС основан на одновременной автоматизированной подачи компонентов приготавливаемой газовой смеси с заданными расходами, обеспечивающими требуемый состав смеси.

Перед началом процесса приготовления смеси в автоматизированном режиме в автоматизированную систему контроля и управления (АСКУ) вводятся исходные данные: род газов-компонентов; концентрации компонентов смеси; объем приготавливаемой смеси; требуемый уровень давления смеси и т.д. Проводится проверка нахождения элементов пневмоарматуры в исходном положении, с возможностью диалога между оператором и ЭВМ. По заданным исходным данным АСКУ производит расчет, по результатом которого блок формирования управляющего сигнала, являющийся составной частью АСКУ, вырабатывает управляющие сигналы, передаваемые на приводы вентилей регулирующих ВР1и ВР2, устанавливая требуемое значение координат их запорных органов. Открываются вентили ВН1 и ВН2.

После завершения предварительных технологических операций от источников постоянного давления осуществляется подача компонентов смеси в соответствующие линии, в которых газы предварительно фильтруются по средством прохождения через фильтры Ф1 и Ф2. Точность расхода потоков газа требуемых параметров для каждой из линий обеспечивают пары: вентиль регулирующий и регулятор-стабилизатор. Подробное описания функционирования ВР и РС по поддержанию требуемого расхода представлены в источнике [1, 2].

АСКУ подает сигнал на открытие электропневпоклапанов ЭК1 и ЭК2 обеспечивая требуемый расход компонентов (газа 1 и газа 2) в емкость приготовления газовой смеси. Перед поступлением в емкость для приготовления смеси газы повторно проходят очистку через фильтры Ф3 и Ф4.

Для предотвращения обратного потока смеси из емкости, при превышении давления полученной смеси по отношению к давлению подаваемых компонентов, в линиях встроены клапаны обратные КО1, КО2. В случаи внештатной ситуации, например при превышении допустимого давления в линиях, имеется возможность «сброса» через предохранительные клапаны КП1 и КП2, с последующим перекрытием магистралей электропневмоклапанами ЭК1 и ЭК2.

На протяжении всего процесса приготовления смеси осуществляется постоянный мониторинг уровня давления в СПГС: «до» и «после» вентиля регулирующего, после регулятора-стабилизатора, в емкости. В случаи отклонения уровня давления происходит пересчет координат затворов ВР1 и/или ВР2, с их последующей корректировкой, до достижения требуемого расхода.

Подача газа в емкость осуществляется через рассекатели Р1 и Р2, направленных под углом друг относительно друга, представляющие собой трубки с множеством мелких отверстий. Наличие рассекателей, разбивающего поток газа на множество мелких струй, обеспечивает более качественное перемешивание газов, препятствующее расслоению газовой смеси из-за разности плотностей компонентов. Следствием применения рассекателей так же служит ускорение диффундирования и сокращается время до получения однородной газовой смеси требуемой концентрации. На верхней части емкости установлен датчик температуры (термопреобразователь сопротивления), который по кабелю выдаёт в АСКУ сигнал о температуре газа в емкости. Чувствительный элемент датчика в защитной гильзе помещён в глубине емкости, достаточно далеко от стенок. Защитная гильза предохраняет чувствительный элемент датчика от воздействия высокого давления и позволяет снимать датчик для поверки, не выпуская при этом газ из емкости. Температура и давление газа нужна АСКУ, чтобы правильно рассчитать количество газа в емкости (запас смеси), а также правильно выдержать соотношение компонентов при приготовлении смеси, пополнении запаса смеси или для изменения процентного состава смеси.

Температура газа в емкости зависит не только от температуры окружающей среды, но и постоянно меняется по мере её наполнения или опорожнения, поэтому при приготовлении смеси в автоматическом режиме АСКУ контролирует температуру газа в емкости в режиме реального времени и производит постоянный перерасчёт количества газа с поправкой на температуру и давление.

СПГС имеет возможность отражения на дисплее АСКУ информация о ходе процесса приготовления смеси, конечных и текущих значениях требуемых параметров (давления, количества смеси) в числовой форме и в виде графиков, регистрирующихся в памяти АСКУ в виде архивов. После окончания процесса приготовления газовой смеси информация может быть распечатана в виде протокола установленной формы.

Техническое решение СПГС может быть реализовано в качестве статического и динамического способа приготовления гомогенной газовой смеси требуемого состава.

Подача компонентов смеси в емкость осуществляется по трубопроводам, подходящим к штуцерам Ш4 и Ш5, расположенным на её верхней части, а выдача газовой

смеси на потребителя смеси происходит по трубопроводам, подстыкованным к её нижней части. Такое решение, особенно в случае реализации динамического способа приготовления газовой смеси, позволяет исключить возможность накопления конденсата в емкости и коррозию внутренних её поверхностей.

Предложенная классификация позволяет обосновать применяемый способ приготовления смеси в зависимости от требуемой точности получаемой концентрации и параметров получаемой смеси.

Предложенные технические решения позволяют в автоматическом режиме оперативно осуществить приготовление газовых смесей в системах испытаний составных частей и элементов ракет-носителей с высокой точностью уровня концентрации.

Использование предлагаемой системы обеспечит повышение эффективности пневмоиспытаний изделий ракетно-космической техники за счет увеличения точности и сокращения длительности приготовления смесей.

## Список литературы


1. Алиев А.Р. Формирование структуры и исследование функционирования автоматизированной системы регулирования расхода газа: дис. … магистр. техники и технологии. Ковров, 2013. 117 с.
2. Алиев А.Р., Халатов Е.М. К вопросу модернизации систем регулирования расхода газа // Молодежный научно-технический вестник. Электрон. журнал. 2014. № 6. Режим доступа: http://sntbul.bmstu.ru/doc/724585.html (дата обращения 07.06.2015).
3. Беседин П.В., Трубаев П.А. Математическое обеспечение автоматизированного проектирования состава многокомпонентных смесей // Известия вузов. Строительство. 1997. № 5. С. 36-41.
4. Бондаренко В.Л., Лосяков Н.П., Симоненко Ю.М., Дьяченко О.В., Дьяченко Т.В. Методы приготовления смесей на основе инертных газов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение». 2012. № 5. С.41-53.
5. Гельфанд Я.Е., Дороганич С.К., Яковис Л.М. Оптимизация химико-технологических систем приготовления многокомпонентных смесей // IV Всесоюзная научная конференция: тезисы докладов. Харьков: ХПИ, 1985. С. 19-20.
6. ГОСТ Р ИСО 6142–2008. Анализ газов. Приготовление градуировочных газовых смесей. Гравиметрический метод. Введ. 2009-09-01. М.: Стандартинформ, 2009. 30 с.

7. ГОСТ Р ИСО 6144–2008. Анализ газов. Приготовление градуировочных газовых смесей. Статический объемный метод. Введ. 2009-12-01. М.: Стандартинформ, 2009. 23 с.
8. Другов Ю.С., Родин А.А. Газохроматографический анализ природного газа М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. 174 с.
9. Насибулина А.И., Оспанова Г.М., Тусупбекова Г.М. О поверочных газовых смесях // III Научно-практическая конференция «Информационно-измерительная техника и технологии»: материалы. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. С. 109-113.
10. Гельфанд Я.Е., Яковис Л.М., Дороганич С.К. Управление химико-технологическими процессами приготовления многокомпонентных смесей / под ред. Я.Е. Гельфанда. Л.: Химия, 1988. 288 с.