

**ПРЕЦИЗИОННАЯ ПОДАЧА ГАЗОВ В ВАКУУМНЫЙ РЕАКТОР
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ТЕРМОКОРРЕКЦИЕЙ ВНЕШНЕЙ
СРЕДЫ**

**PRECISION GAS SUPPLY TO THE VACUUM REACTOR OF PROCESS
EQUIPMENT WITH TEMPERATURE CORRECTION OF THE EXTERNAL
ENVIRONMENT**

С.В.Сажнев / sazhnev@eltochpribor.ru

В.И.Князев / gas@eltochpribor.ru

S.V.Sazhnev, V.I.Khyazev

ООО «ЭЛТОЧПРИБОР», г. Москва, г. Зеленоград

Работа посвящена термокоррекции теплового регулятора массового расхода газа (РРГ) при подаче рабочего газа в вакуумный реактор технологического оборудования.

Определена связь температуры корпуса РРГ с дополнительной приведенной погрешностью регулирования РРГ по температуре и температурой внешней среды.

На основе полученных в работе данных на базе аналогового РРГ создан цифровой РРГ с прецизионной точностью подачи рабочего газа в вакуумный реактор технологического оборудования в достаточно широком диапазоне температур внешней среды.

The work is devoted to thermal correction of the thermal mass flow controller (MFC) when the working gas is supplied to the vacuum reactor of technological equipment.

The relationship of the MFC body temperature with the additional reduced temperature control error of MFC and the ambient temperature is determined.

Based on the obtained data, based on analog MFC a digital MFC is created with precision accuracy flow of the working gas in the vacuum reactor process equipment in a rather wide range of ambient temperatures.

Ключевые слова: РРГ, регулятор массового расхода газа, вакуумное оборудование, температурная коррекция, приведенная погрешность регулирования расхода газа, цифровая плата с микроконтроллером

Keywords: MFC, gas mass flow controller, vacuum equipment, temperature correction, reduced error of gas flow control, digital microcontroller

В современном промышленном оборудовании нашли широкое применение тепловые регуляторы массового расхода газа (РРГ) [1]. Отличительной особенностью данных приборов является высокая точность регулирования расхода газа. Однако, с развитием промышленности требования к точности регулирования расхода газа возрастают [2].

Одним из определяющих факторов, влияющих на погрешность регулирования расхода газа РРГ, является температура внешней среды.

Основным элементом в конструкции РРГ, определяющим точность регулирования расхода газа, является датчик расхода газа, на котором главным образом и проявляется влияние температуры внешней среды на РРГ.

Для уменьшения влияния температуры внешней среды на датчик расхода газа можно использовать микроконтроллер (МК), встроенный в РРГ, например, как это сделано для температурной компенсации датчика давления в работе [3].

Целью данной работы является:

1. Определение связи дополнительной приведенной погрешности регулирования РРГ с температурой корпуса РРГ и температурой внешней среды при неизменной температуре рабочего газа.
2. Получение экспериментальных данных влияния температуры внешней среды на погрешность регулирования промышленного аналогового РРГ-10 «Элтотприбор».
3. Изучение возможности применения МК с цифровой платой в РРГ-10 для уменьшения погрешности РРГ с помощью программной термокоррекции регулирования расхода газа.

Экспериментальная часть работы проводилась при использовании схемы, представленной на рис.1.

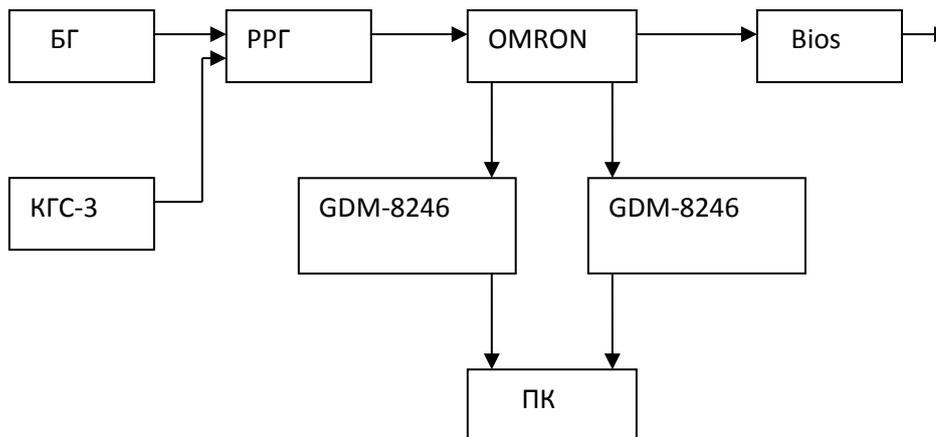


Рис.1 Блок-схема эксперимента.

БГ – блок газовый, РРГ – регулятор расхода РРГ-10 36 л/ч, OMRON – интегральный датчик расхода газа со встроенным датчиком температуры на микросхеме LM-35, Bios – измеритель расхода газа поршневого типа Bios Definer 220 с диапазоном 50 – 5000 нмл/мин, КГС-3 – контроллер газовых смесей, GDM-8246 Q и T – мультиметры для измерения сигнала датчика расхода газа OMRON и его температуры с интерфейсами RS-232 для связи с ПК, ПК – персональный компьютер.

Источником газа являлся блок газовый БГ, который питался от воздушного компрессора с максимальным избыточным давлением 3,4 атм. С помощью редуктора БГ на входе РРГ-10 устанавливалось избыточное давление 1 атм.

Измерение температуры датчика расхода газа OMRON осуществлялось встроенным в него датчиком температуры LM-35 и служило для автоматизации измерения температуры помещения, т.к. температура датчика OMRON близка к температуре помещения. Температура газа для коррекции расчета измерения расхода газа измерялась прибором Bios с встроенным в него датчиком температуры. Точность регистрации температуры во всех случаях составляет 0,1°C.

В регулятор расхода газа РРГ-10 встроена цифровая плата на основе МК компании Microchip с 12-битным АЦП в МК.

Эта плата позволяет:

1. Принимать и отправлять цифровые сигналы по протоколу Modbus RTU.
2. Формировать задание расхода газа в виде аналогового сигнала на входе серийного РРГ-10 в диапазоне напряжений 16 мВ – 5000 мВ с точностью 2 мВ.

3. Преобразовывать выходной сигнал серийного РРГ-10 в диапазоне 0 – 10 В с погрешностью не более 0,2 % в цифровой сигнал 0 – 10000 у.е. для передачи в компьютер.
4. Выполнять цифровые команды «Открыть клапан», «Закрыть клапан» и «Регулировать». Для команд «Открыть клапан» и «Закрыть клапан» на соответствующие входы серийного РРГ-10 подавать напряжения +15 В и – 15 В. Для команды «Регулировать» подавать напряжение задания расхода газа.

На основе регулятора РРГ-10 был создан цифровой регулятор РРГ-20, в котором в качестве измерителя температуры корпуса РРГ использовался датчик температуры LM35, закрепленный у основания датчика расхода газа РРГ. Температурные испытания РРГ-10 и РРГ-20 проводились при помощи термостата (рис.2). Температура в термостате изменялась от комнатной температуры до плюс 35°C. Для выравнивания температуры газа на входе РРГ с температурой окружающей среды в термостате использовался теплообменник в виде спирали из медного трубопровода диаметром 6 мм (рис.2).

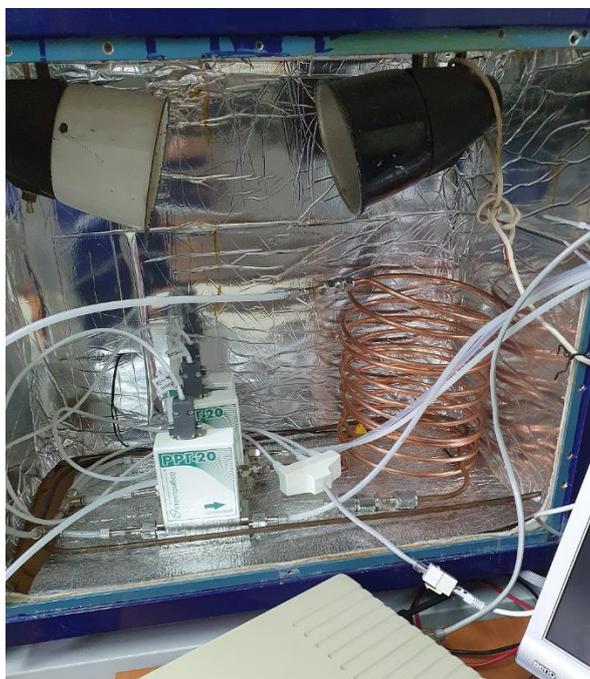


Рис.2 Термостат для температурных испытаний РРГ.

На рис. 3 - 5 представлены экспериментальные данные по исследованию влияния температуры внешней среды на точность регулирования расхода газа РРГ. Измерения расхода газа проводились с помощью калибратора Bios Definer 220 и предварительно откалиброванного датчика расхода на кристалле OMRON. Случайная погрешность датчика OMRON в диапазоне измерений расхода РРГ не превышала 0,05%.

На рис.3 представлена корреляционная зависимость между изменением температуры окружающей среды, измеренной температурным датчиком LM35, и величиной расхода газа, измеренной датчиком расхода OMRON. Регулятором расхода являлся РРГ-10 без цифровой платы внутри с диапазоном расхода 36 л/ч при 100% задании расхода.

Из рис.3 по изменяемым во времени формам сигналов видно, что между температурой среды и величиной расхода имеется корреляционная связь.

На рис.4 представлена основная приведенная погрешность того же РРГ-10, но с встроенной цифровой платой внутри в двух случаях: с выключенной программной температурной коррекцией расхода газа и с включенной. В обоих случаях в первые два

часа происходит самопрогрев РРГ, затем включается нагрев термостата до температуры плюс 35°C и продолжается термостатирование при температуре плюс 35°C в последующие два часа. Как следует из рис.4, программная термокоррекция РРГ значительно уменьшает основную приведенную погрешность РРГ. Это уменьшение составляет не менее чем 10 раз.

На рис.5 представлена зависимость основной приведенной погрешности регулирования расхода газа РРГ-10 с встроенной цифровой платой от времени, характеризующая долговременную стабильность параметров РРГ. Время наблюдения составило более полутора месяца. За это время основная приведенная погрешность регулирования расхода газа не превысила 0,3%.

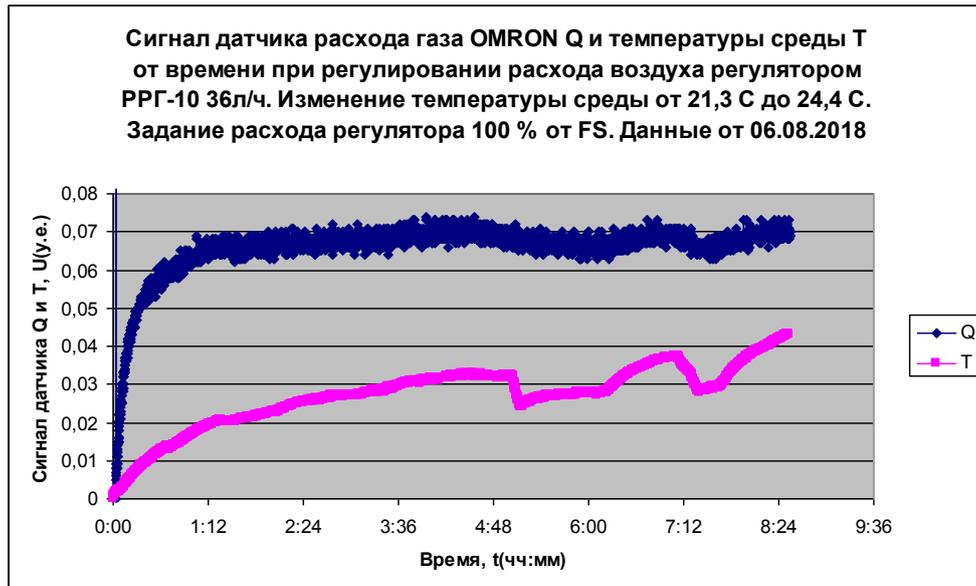


Рис.3. Корреляционная связь между изменением температуры внешней среды T и величиной расхода газа Q аналогового РРГ.

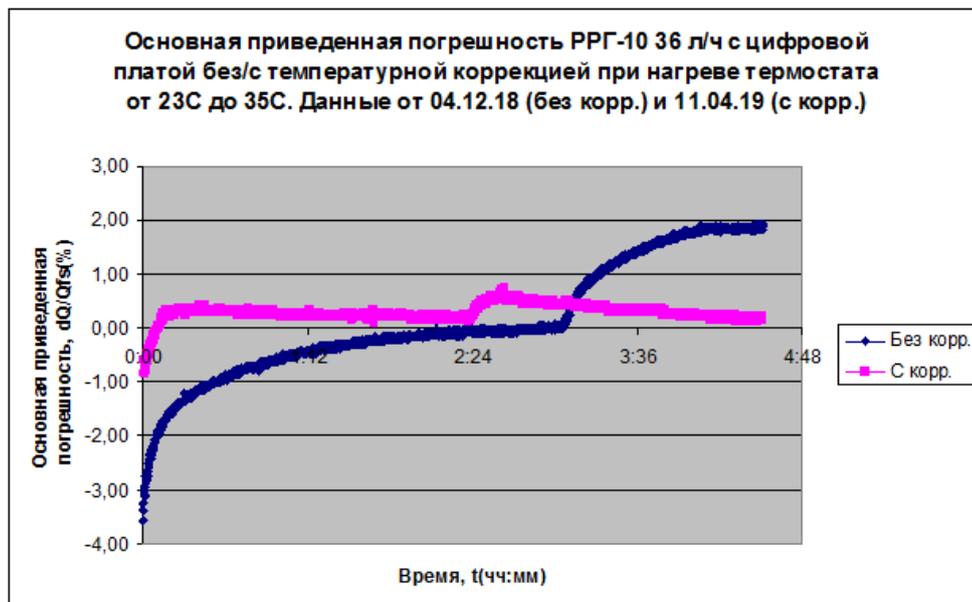


Рис.4. Основная приведенная погрешность РРГ-10 с цифровой платой внутри РРГ с выключенной и включенной программной температурной коррекцией при нагреве термостата от комнатной температуры до температуры плюс 35°C.



Рис.5. Основная приведенная погрешность РРГ-10 с цифровой платой внутри в различные дни измерений после двух часового прогрева при комнатной температуре с термокоррекцией.

ВЫВОДЫ

1. Определена связь основной приведенной погрешности регулирования теплового регулятора массового расхода газа «Элтотприбор» РРГ-10 с температурой внешней среды.
2. Экспериментально показана возможность уменьшения основной приведенной погрешности аналогового РРГ-10 с помощью цифровой платы с термокоррекцией микроконтроллером внутри РРГ до величины 0,3%.
3. По результатам работы был создан цифровой РРГ с температурной коррекцией регулирования расхода газа «Элтотприбор» РРГ-20 для прецизионной подачи газа в технологическое оборудование.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.И.Князев, С.В.Сажнев, Ю.Б.Цветков «Создание и управление многокомпонентной газовой смесью в рабочем объеме вакуумного оборудования» //«Gasworld Россия и СНГ», Март-Апрель 2019, с. 16 – 18
2. Robert F. Berg, David S. Green, and George E. Mattingly «Semiconductor Measurement Technology: Workshop on Mass Flow Measurement and Control for the Semiconductor Industry» //NIST Special Publication 400-101, February 2001
3. Д.Шапонич, А.Жигич «Коррекция пьезорезисторного датчика давления с использованием микроконтроллера» //Приборы и техника эксперимента, 2001, №1, с. 54-60